

Anton Schwanner

**Wirtschaftlichkeit einer thermischen Solaranlage
im Vergleich zu einer monovalenten Elektroheizung**
für die Trinkwassererwärmung im Einfamilien-Haushalt
unter Berücksichtigung des Standortes Graz.

Eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen
Graz, 2010

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling

Zweitprüfer: Prof. Dr. Andreas Hollidt

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung

Schwanner, Anton:

Wirtschaftlichkeit einer thermischen Solaranlage im Vergleich zu einer monovalenten Elektroheizung für die Trinkwassererwärmung im Einfamilien-Haushalt unter Berücksichtigung des Standortes Graz. - 2010 - 138 S., Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen, Diplomarbeit, 2010

Referat:

Ziel der Diplomarbeit ist es, den gesamtheitlichen Aspekt im Bereich der thermischen Solaranlage am Beispiel einer Trinkwassererwärmung im Einfamilien-Haushalt darzustellen. Der Schwerpunkt liegt bei der betriebswirtschaftliche Betrachtung, in welcher mit Hilfe der klassischen Investitionsrechenverfahren und anschließender Sensitivitätsanalyse, ein geeignetes Rechenverfahren für eine transparente, nachvollziehbare Entscheidungsfindung gefunden werden soll.

Nach der ökonomischen Betrachtung erfolgt eine gesamtheitliche Betrachtung der Nachhaltigkeit einer solarthermischen Anlage. Dazu wird eine energetische Bewertung mit anschließend umweltbezogener und volkswirtschaftlicher Bewertung durchgeführt.

Zum Schluss erfolgt die Auswertung der ganzheitlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einer Zusammenfassung sowie einer Empfehlung für einen Entscheidungsprozess.

I	Abbildungsverzeichnis.....	VI
II	Tabellenverzeichnis.....	VII
III	Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1.	Einleitung	1
1.1	Aktueller Stand und Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung	5
1.3	Methodische Vorgehensweise.....	5
2.	Stand der Technik	7
2.1	Begriffe und Definitionen	7
2.2	Warmwasserversorgungskonzepte	11
2.3	Elektrisch beheizte Trinkwassererwärmung	15
2.4	Solarunterstützte Trinkwassererwärmung	15
2.4.1	Funktionsbeschreibung	16
2.4.2	Systemvarianten.....	17
2.4.3	Komponenten solarthermischer Anlagen.....	21
2.4.3.1	Kollektoren, Absorber	21
2.4.3.2	Solarspeicher	26
2.4.3.3	Rohrleitungssystem und Zubehör	27
2.4.3.4	Steuerung.....	28
3.	Gesetzliche und finanzielle Rahmenbedingungen	29
3.1	Finanzierung.....	29
3.2	Investitionsförderung	29
3.3	Preisentwicklung.....	33
3.4	Umsatzsteuer	35
3.5	Versicherung	35
3.6	Baurecht	35
4.	Grundlagen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	36
4.1	Betriebswirtschaftliche Grundlagen	36
4.1.1	Grundlagen der Investitionsrechnung.....	36
4.1.1.1	Investitionsart	36
4.1.1.2	Zahlungsart	36
4.1.1.3	Preisänderung	37
4.1.1.4	Kalkulationszinssatz	37
4.1.1.5	Nutzungsdauer	39

4.1.2	Statische Investitionsrechenverfahren.....	40
4.1.3	Dynamische Investitionsrechenverfahren.....	41
4.1.3.1	Kapitalwertmethode.....	41
4.1.3.2	Annuitätsmethode.....	43
4.1.3.3	Interne Zinsfußmethode.....	45
4.1.3.4	Dynamische Amortisationsrechnung.....	46
4.1.4	Sensitivitätsanalyse.....	47
4.2	Aspekte der energetischen Betrachtung.....	47
4.3	Aspekte der umweltbezogenen Betrachtung.....	48
4.4	Aspekte der volkswirtschaftlichen Betrachtung.....	49
5.	Planung und Auslegung von TWE-Anlagen.....	51
5.1	Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung.....	51
5.1.1	Wahl des Referenzhaushaltes.....	51
5.1.2	Ermittlung des Warmwasserbedarfes.....	52
5.1.3	Berechnung des Nutzenergiebedarfes.....	54
5.2	Elektrisch beheizte Trinkwassererwärmung als Vergleichssystem.....	55
5.2.1	Wahl des Anlagensystems.....	55
5.2.2	Auslegung und Dimensionierung.....	55
5.2.3	Berechnung des Energieaufwandes.....	56
5.3	Solarunterstützte Trinkwassererwärmung.....	59
5.3.1	Berechnungsgrundlagen.....	59
5.3.1.1	Klimadaten.....	59
5.3.1.2	Ausrichtung der Sonnenkollektoren.....	60
5.3.1.3	Kennzahlen solarunterstützter Wärmeversorgungsanlagen.....	61
5.3.2	Wahl des Anlagensystems.....	64
5.3.3	Auslegung und Dimensionierung.....	65
5.3.3.1	Kollektorfläche.....	65
5.3.3.2	Solarspeicher.....	66
5.3.3.3	Rohrleitungssystem und Zubehör.....	67
5.3.4	Berechnung des Energieaufwandes.....	68
5.4	Gegenüberstellung der Energieaufwände (Energieeinsparung).....	73
6.	Kostenberechnung der TWE-Anlagen.....	75
6.1	Anschaffungskosten/-auszahlungen.....	75
6.2	Berechnung der mittleren jährlichen Zahlungen.....	78
6.2.1	Kapitalgebundene Zahlungen.....	78
6.2.2	Verbrauchsgebundene Zahlungen.....	79

6.2.3	Betriebsgebundene Zahlungen	80
6.3	Zusammenstellung der Kosten	81
7.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	82
7.1	Betriebswirtschaftliche Betrachtung	82
7.1.1	Statische Amortisationsmethode	82
7.1.2	Kapitalwertmethode	83
7.1.3	Annuitätsmethode	87
7.1.4	Interne Zinsfußmethode	91
7.1.5	Dynamische Amortisationsrechnung	94
7.1.6	Sensitivitätsanalyse	95
7.2	Energetische Betrachtung	97
7.2.1	Primärenergieaufwand	97
7.2.2	Energetische Amortisationszeit von Solaranlagen	100
7.3	Umweltbezogene Betrachtung	101
7.4	Volkswirtschaftliche Betrachtung	101
8.	Zusammenfassung	103
IV	Literaturverzeichnis	IX
V	Anhänge	
	Anhang A: Die wichtigsten Analysewerte des Grazer Trinkwassers	XV
	Anhang B: Auszug VDI 2006, Datenblatt für Herstellerangaben zum Kollektor	XVI
	Anhang C: Auszug aus der Broschüre: „Das Steuerbuch 2009“	XVII
	Anhang D: Auszug aus der Richtlinie für Direktförderung vom Land Steiermark	XVIII
	Anhang E: Auszug aus dem „Merkblatt Solarenergie“ der Stadt Graz	XIX
	Anhang F: Auszug aus ÖNORM M 7701 Beiblatt 2: Globalstrahlung	XX
	Anhang G: Auszug aus ÖNORM M 7701 Beiblatt 2: Lagefaktor	XXI
	Anhang H: Auszug aus ÖNORM M 7701 Beiblatt 2: Sonnenweg-Diagramm	XXII
	Anhang I: Werte aus Simulationsprogramm / Polysun	XXIII
	Anhang J: Tägliche Maximaltemperatur im Kollektor	XXIV
	Anhang K: Angebot über Solaranlage zur Trinkwassererwärmung	XXV
	Anhang L: Wartungsprotokoll	XXVI
	Anhang M: Kondensatbildung in Flachkollektoren	XXVII
	Anhang N: Firmendaten österr. Kollektorproduzenten u. Vertriebsfirmen	XXVIII
VI	Ehrenwörtliche Erklärung	IX

Abbildung 1: Energieeinsatz in Österreich 2005	2
Abbildung 2: Treibhausgas-Emission in Österreich 2005	3
Abbildung 3: Marktentwicklung der Solarthermie in Österreich.....	4
Abbildung 4: Prinzipdarstellung - Einzelversorgung.....	11
Abbildung 5: Prinzipdarstellung - Gruppenversorgung	12
Abbildung 6: Berechnungsbeispiel: Wärmeverluste einer Zirkulationsleitung	13
Abbildung 7: Prinzipdarstellung – Wohnungszentrale Versorgung	13
Abbildung 8: Übersicht über die Arten von Wassererwärmungsanlagen	14
Abbildung 9: Prinzipdarstellung einer Solaranlage	16
Abbildung 10: Standard Solarsystem	17
Abbildung 11: „Drain Back“- Anlage	19
Abbildung 12: Energiespeicher-Anlage mit Warmwasserboiler	20
Abbildung 13: Energiespeicher-Anlage mit Warmwasser-Durchflusserwärmung.....	21
Abbildung 14: Flachkollektor	22
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Energiegewinne und -verluste eines Flachkollektors	23
Abbildung 16: Kollektor - Wirkungsgradkennlinie	24
Abbildung 17: Flachkollektor - Flächendefinition	25
Abbildung 18: Vakuumröhrenkollektoren.....	26
Abbildung 19: Entwicklung des Strompreises für Haushaltskunden	33
Abbildung 20: Preis für Haushaltsstrom in €/Jahr, für einen Jahresverbrauch von 3.500 kWh	34
Abbildung 21: Anteile der Energieträger bei der Stromaufbringung in Österreich	47
Abbildung 22: Schaltschema einer elektrisch beheizten TWE-Anlage mit Energieflüssen.....	55
Abbildung 23: Energieflussschema der elektrisch beheizten TWE-Anlage	58
Abbildung 24: Einfluss der Kollektorneigung	60
Abbildung 25: Einfluss der Kollektororientierung auf den Solarertrag	60
Abbildung 26: Schaltschema einer solarunterstützten TWE-Anlage mit Energieflüssen.....	64
Abbildung 27: Nomogramm zur Kollektor- und Speicherdimensionierung	66
Abbildung 28: Nomogramm zur Ermittlung der Kennwerte	70
Abbildung 29: Energieflussschema einer solarunterstützten TWE-Anlage	72
Abbildung 30: Verteilung der Gesamtkosten für eine Solaranlage im Neubau.....	77
Abbildung 31: graphische Ermittlung der dynamischen Amortisationszeiten (Neubau)	95
Abbildung 32: Einfluss Kalkulationszinssatz auf die Wirtschaftlichkeit (240 l/d)	96
Abbildung 33: Einfluss der Strompreisänderungsraten auf die Wirtschaftlichkeit (240 l/d)	96
Abbildung 34: Einfluss der Anschaffungskosten auf die Wirtschaftlichkeit (240 l/d)	97

Tabelle 1:	Anwendungsbereich von Enthärtungsanlagen.....	18
Tabelle 2:	Warmwasserbedarfe verschiedener Quellen, im Einfamilien-Haushalt	53
Tabelle 3:	Vergleich der Warmwasserbedarfe verschiedener Quellen	54
Tabelle 4:	Zusammenstellung der Energiemengen der elektrisch beheizten TWE	58
Tabelle 5:	Zusammenstellung der Energiemengen der solarunterstützten TWE	73
Tabelle 6:	Einsparung an elektrischer Endenergie mit WW-Bedarf 160 l/d.....	73
Tabelle 7:	Einsparung an elektrischer Endenergie mit WW-Bedarf 240 l/d.....	74
Tabelle 8:	Einsparung an elektrischer Endenergie mit WW-Bedarf 360 l/d.....	74
Tabelle 9:	Kosten einer Solaranlage zur TWE im Altbau	75
Tabelle 10:	Kosten für die Erneuerung einer elektrisch beheizten TWE	76
Tabelle 11:	Kosten einer Solaranlage zur TWE im Neubau.....	76
Tabelle 12:	Richtwerte für Nutzungsdauer, Instandhaltung und Preissteigerungsraten.....	81
Tabelle 13:	Zusammenstellung der Kosten/Zahlungen.....	81
Tabelle 14:	Statische Amortisationszeiten abhängig vom täglichen WW-Bedarf	83
Tabelle 15:	effektive Kosten der Anlagenkomponenten (Altbau), nach Nutzungsdauer geordnet	84
Tabelle 16:	effektive Kosten der Anlagenkomponenten (Neubau), nach Nutzungsdauer geordnet	84
Tabelle 17:	Berechnung des Kapitalwertes (Altbau, 160 l/d).....	85
Tabelle 18:	Berechnung des Kapitalwertes (Altbau, 240 l/d)	85
Tabelle 19:	Berechnung des Kapitalwertes (Altbau, 360 l/d)	85
Tabelle 20:	Berechnung des Kapitalwertes (Neubau, 160 l/d)	86
Tabelle 21:	Berechnung des Kapitalwertes (Neubau, 240 l/d)	86
Tabelle 22:	Berechnung des Kapitalwertes (Neubau, 360 l/d)	86
Tabelle 23:	Berechnung der Annuität (Neubau 160 l/d).....	88
Tabelle 24:	Berechnung der Annuität (Neubau 240 l/d).....	88
Tabelle 25:	Berechnung der Annuität (Neubau 360 l/d).....	88
Tabelle 26:	Berechnung der Annuität (Altbau 160 l/d)	89
Tabelle 27:	Berechnung der Annuität (Altbau 240 l/d)	89
Tabelle 28:	Berechnung der Annuität (Altbau 360 l/d)	89
Tabelle 29:	Ermittlung der solaren Wärmegestehungskosten.....	91
Tabelle 30:	Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Altbau 160l/d).....	92
Tabelle 31:	Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Altbau 240l/d).....	92
Tabelle 32:	Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Altbau 360l/d).....	92
Tabelle 33:	Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Neubau 160l/d).....	93
Tabelle 34:	Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Neubau 240l/d).....	93
Tabelle 35:	Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Neubau 360l/d).....	93
Tabelle 36:	Energieaufwand für die Herstellung von Sonnenkollektoren	98
Tabelle 37:	Energieaufwand für die Herstellung einer 6 m ² Solaranlage	98
Tabelle 38:	Primärenergieeinsatz der Solaranlage über einen Zeitraum von 15 bis 20 Jahren.....	99
Tabelle 39:	Primärenergieeinsatz für die TWE über einen Zeitraum von 15 Jahren ..	100

Index	Bedeutung
BHKW	Blockheizkraftwerk
CO ₂	Kohlendioxid
KEA	kumulierter Energieaufwand
PEF	Primärenergiefaktor
TWE	Trinkwasser-Erwärmer

Symbol	Einheit	Bezeichnung, Benennung
ϑ_K	°C	Kaltwassertemperatur
ϑ_N	°C	Nutztemperatur
ΔQ_e	€	Einsparung an elektr. Endenergie
ϑ_{SP}	°C	Speicherwassertemperatur
a	-	Annuitätsfaktor
A	€/a	Auszahlungen
a ₁	W/m ² K	linearer Kollektorwirkungsgradfaktor
a ₂	W/m ² K ²	quadratischer Kollektorwirkungsgradfaktor
A _B	€/a	betriebsgebundene Zahlung f. Wartung, Bedienung, Kundendienst, etc.
A _K	€/a	Instandsetzungszahlung
A _O	€	Anschaffungsauszahlung
A _t	€/a	Auszahlungen am Ende der Periode t
A _V	€/a	Verbrauchsgebundene Zahlungen
A _{V,E}	€/a	verbrauchsgebundene Zahlung, elektr. Energie
A _{V,F,S}	€/a	verbrauchsgebundene Zahlung, Frostschutz u. Salz
A _{VF}	€/a	jährliche Auszahlungen für Frostschutzmittel
A _{VS}	€/a	jährliche Auszahlungen für Regeneriersalz
B	€	Barwert
b(T,q,r)	-	Barwertfaktor für Betrachtungszeitraum, Zinsfaktor, Preisänderungsfaktor
b(T _N ,q,r)	-	Barwertfaktor für Nutzungsdauer, Zinsfaktor, Preisänderungsfaktor
ba	-	preisdynamischer Annuitätsfaktor
be	-	preisdynamischer Endwertfaktor
c	kWh/kg K	spezifische Wärmekapazität
C _O	€	Kapitalwert
d	€/a	Annuität
dv	€/a	Annuität der verbrauchsgebundenen Zahlungen
E	€/a	Einzahlungen

Symbol	Einheit	Bezeichnung, Benennung
E_F	€	Investitionsförderbetrag
E_t	€/a	Einzahlungen am Ende der Periode t
F_a	m ²	Aperturfläche
F_A	m ²	Absorberfläche
F_B	m ²	Bruttokollektorfläche
f_B	%/a	mittlerer jährlicher Faktor für betriebsgebundene Zahlungen
f_K	%/a	mittlerer jährlicher Instandsetzungsfaktor
G	W/m ²	Globale Bestrahlungsstärke
G_{BW}	Liter	Badewannengröße (Nutzinhalt)
G_{SP}	Liter	Speichergröße (Nutzinhalt)
i	%/a	Kalkulationszinssatz
i_I	%/a	interner Zinsfuß
i^*	-	kritischer (sensitiver) Kalkulationszinssatz
i_e	%/a	Kalkulationszinssatz bei Eigenfinanzierung
i_f	%/a	Kalkulationszinssatz bei Fremdfinanzierung
i_M	%	modifiziert-interner Zinsfuß
j	%/a	Preisänderungssatz
j^*	-	kritischer (sensitiver) Preisänderungssatz
k_e	€/kWh	elektrischer Energiepreis
K_E	€	Endwertsumme
k_e^*	€/kWh	preisdynamisch angepasster Strompreis
k_{SOL}	€/kWh	solare Wärmegestehungskosten (Wärmepreis)
n		aufeinander folgende Nutzung der Badewanne
n_A	Stunden	Aufheizzeit
P_H	kW	elektrische Leistung des Heizkörpers
q	-	Zinsfaktor
Q_E	kWh/a	eingestrahlte Energie (Globalstrahlung)
Q_G	kWh/a	Gesamtwärmebedarf
Q_H	kWh/a	Zusatzheizung (elektr. Energie)
Q_{Kol}	kWh/a	Nutzwärme des Kollektors
Q_N	kWh/a	Jährlicher Nutzenergiebedarf
$q_{N,d}$	kWh/d	Tages-Nutzenergiebedarf
Q_P	kWh/a	Pumpenenergie (elektr. Hilfsenergie)
$Q_{P,S}$	kWh/a	Pumpenenergie im Solarkreis
Q_{SOLAR}	kWh/a	Solarenergie in den Speicher (solarer Ertrag)
q^t	-	Abzinsungsfaktor ($q=1+i$)
$Q_{V,K}$	kWh/a	Gesamtverluste des Kollektors
$Q_{V,P}$	kWh/a	Pumpenenergieverluste

Symbol	Einheit	Bezeichnung, Benennung
$Q_{V,R}$	kWh/a	Jährliche Wärmeverluste der Warmwasser-Verteilleitungen
$q_{V,R,d}$	kWh/d	täglicher Wärmeverlust der Warmwasser-Verteilleitung
$Q_{V,SK}$	kWh/a	Wärmeverluste - Solarkreis
$Q_{V,SP}$	kWh/a	Wärmeverluste des Speichers
$q_{V,SP,d}$	kWh/d	täglicher Wärmeverlust des Speichers (auch Bereitschaftswärmeaufwand genannt)
$Q_{V,SPe}$	kWh/a	Jährliche Wärmeverluste des Elektrospeichers
Q_W	kWh/a	Jährlicher Wärmebedarf ab Speicher
r	-	Preisänderungsfaktor
R	-	komponentenspezifischer Restwertfaktor
RW	€	Restwert einer Anlagenkomponente
RW_e	€	Restwert zum Ende des Betrachtungszeitraumes
SD	%	solarer Deckungsgrad
SE	kWh/m ² a	spezifischer Solarertrag
SN	%	Systemnutzungsgrad
T	Jahre	Betrachtungszeitraum (max. wirtschaftliche Nutzungsdauer)
t	-	laufende Nummer einer Periode
t_a	Jahre	Amortisationszeit
t_{aZUL}	Jahre	max. zulässige Amortisationszeit in Jahren (vom Investor festgesetzt Frist)
t_{ad}	Jahre	dynamische Amortisationszeit
T_N	Jahre	Nutzungsdauer
\ddot{U}	€/a	Zahlungsüberschuss pro Periode (Einsparung)
$V_{N,d}$	l/d	personenbezogener Tages-Nutzwarmwasserbedarf
z	%/a	Risikozuschlag
$\bar{\theta}_a$	°C	Umgebungstemperatur
$\bar{\theta}_{aus}$	°C	Wärmeträgeraustrittstemperatur aus dem Kollektor
$\bar{\theta}_{ein}$	°C	Wärmeträgereintrittstemperatur in den Kollektor
$\bar{\theta}_{Kol}$	°C	mittlere Kollektortemperatur
η_K	%	Kollektorwirkungsgrad
η_o	-	Konversionsfaktor
ρ	kg/l	Dichte

1. Einleitung

1.1 Aktueller Stand und Problemstellung

Der wesentlichste Energieträger für unsere Welt ist die Sonnenenergie. Bei vielen fossilen und erneuerbaren Energieträgern handelt es sich um gespeicherte Sonnenenergie. Kohle, Erdgas oder Erdöl zählen zu den fossilen Energieträgern, die aus umgewandelter Biomasse stammen und durch die Dauer ihrer Entstehung als limitiert zu betrachten sind.¹

Erneuerbare Energieträger², wie zum Beispiel Windenergie, Biomasse, Sonnenenergie, Wasserkraft, Erdwärme (Geothermie) und Gezeitenenergie sind Energieträger/-quellen, die sich ständig erneuern bzw. nachwachsen. Sie sind somit nach menschlichem Ermessen unerschöpflich.³

Erneuerbare Energien decken weltweit ca. 13% der globalen Primärenergieversorgung und ca. 18% der globalen Stromproduktion.⁴

Die derzeitige Weltenergiesituation ist durch die radikale Verbrennung von fossilen Energieträgern gekennzeichnet. Die bei der Verbrennung freiwerdenden Gase (wie: Kohlendioxid, Methan, Lachgas und fluoridierte Treibhausgase) verändern die Zusammensetzung der Atmosphäre und zerstören den natürlichen Treibhauseffekt.⁵ Das Ergebnis: eine globale Erwärmung.

Stimuliert vom Weltklimagipfel in Kyoto im Dezember 1997 begannen einzelne Industriestaaten in nationalen Programmen ihre Beiträge zur Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen festzulegen.

¹ Vgl. Umweltbundesamt der Republik Österreich, Link: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/energie/energietraeger/> eingesehen am 30.05.2010

² Erneuerbare Energien werden auch als regenerative oder alternative Energien bezeichnet

³ Vgl. Umweltbundesamt der Republik Österreich, Link: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/energie/energietraeger/erneuerbareenergie/> eingesehen am 30.05.2010

⁴ Vgl. ebenda

⁵ Vgl. Umweltbundesamt der Republik Österreich, Link: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/treibhausgase/> eingesehen am 2.6.2010

Von der EU wurde ein Klima- und Energiepaket ausgearbeitet, welches sicherstellen soll, dass die festgelegten Klimaziele für 2020 erreichbar sind. Es beinhaltet im wesentlichen:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 20% (Basis: Level 1990)
- 20%ige Senkung des Primärenergieverbrauch im Vergleich zum BAU Szenario⁶
- Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energieträgern auf 20%

In Österreich soll der Anteil an erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch gemäß der EU-Richtlinie 2009/28/EG⁷ bis zum Jahr 2020 auf 34% erhöht werden⁸. Im Basisjahr 2005 lag der Anteil bei 23,3% und im Jahr 2008 bei 29%.

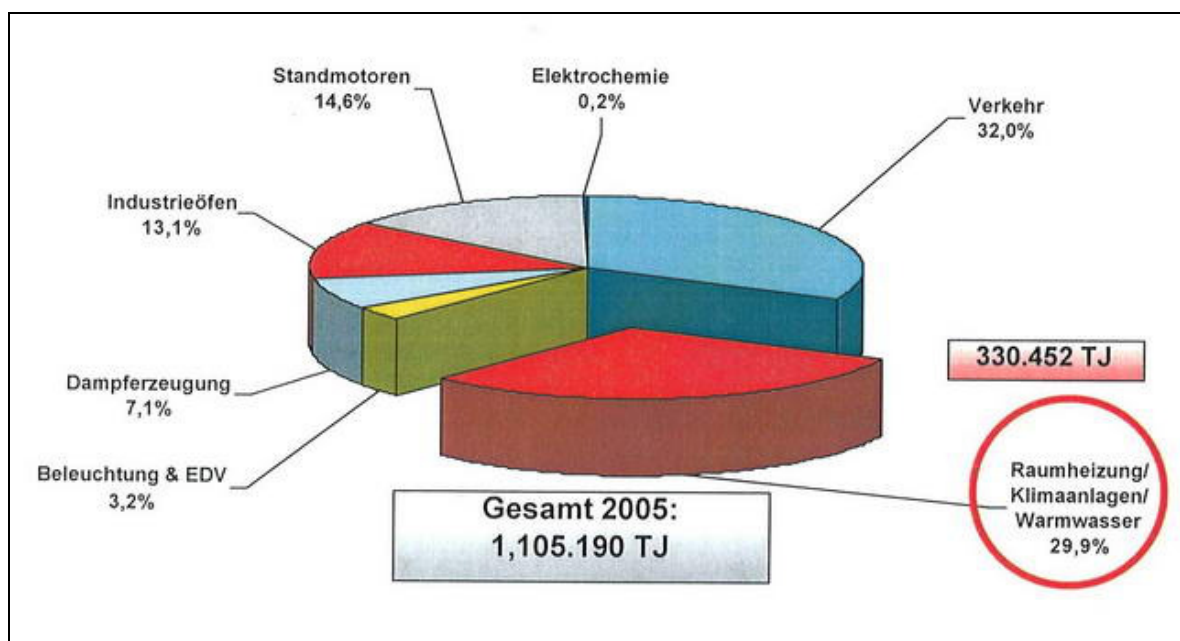


Abbildung 1: Energieeinsatz in Österreich 2005⁹

Um dieses Ziel zu erreichen wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend im Jahr 2009 Maßnahmenvorschläge ausgearbeitet. In der Broschüre „Energie Strategie Österreich“ ist das Ergebnis dieser Arbeit zusammengefasst. Im ersten Schritt wird die Nutzung von Solarenergie zur Warmwasserbereitung im Wohnbau und Gewerbe diskutiert und in weiteren Schritten wurde angedacht, die teilsolare Raumheizung im Wohnbau verpflichtend einzuführen, wenn geeignete Flächen vorhanden sind.

⁶ BAU-Szenario: beschreibt die wahrscheinliche zukünftige Entwicklung unter der Voraussetzung, dass abgesehen von bereits beschlossenen (politischen) Maßnahmen keine explizite Förderung von erneuerbarer Energie erfolgt. Es dient damit als "Referenzszenario", um die Lücke zwischen dem in einem Szenario definierten Ausbau und der wahrscheinlichen Entwicklung ohne weiteres Handeln abzubilden, in: Erneuerbare Energie in Österreich: Modellierung möglicher Entwicklungsszenarien bis 2020, Link: www.energiemodell.at/ee.htm

⁷ Amtsblatt der Europäischen Union, Richtlinien, L140/16 vom 5.6.2009

⁸ Ebenda, Umweltbundesamt der Republik Österreich, a.a.O.

⁹ Quelle: Statistik Austria

Dabei können Systeme zur direkten Nutzung der Sonnenenergie oder Systeme zur kombinierten Nutzung von indirekter und direkter Sonnenenergie¹⁰ (Hybridsysteme) angewendet werden.¹¹

Die Zuordnung nach Verbrauchersektoren in Abbildung 1 zeigt, dass ca. 30% des Energieeinsatzes in Österreich auf Raumwärme und Warmwasser entfallen. Innerhalb dieses Sektors sind die privaten Haushalte mit einem Anteil von zwei Drittel der bedeutendste Faktor.¹²

Aus Abbildung 2 geht hervor, dass die Wärmeversorgung von Gebäuden mit etwa 17% zu den umweltrelevanten CO₂-Emissionen in Österreich beiträgt¹³.

Im Klimaschutzbericht 2010 des Umweltbundesamtes sind in Summe keine signifikanten Veränderungen der Reduktion von Treibhausgasen seit 2003 bis Ende 2009 festgestellt worden¹⁴.

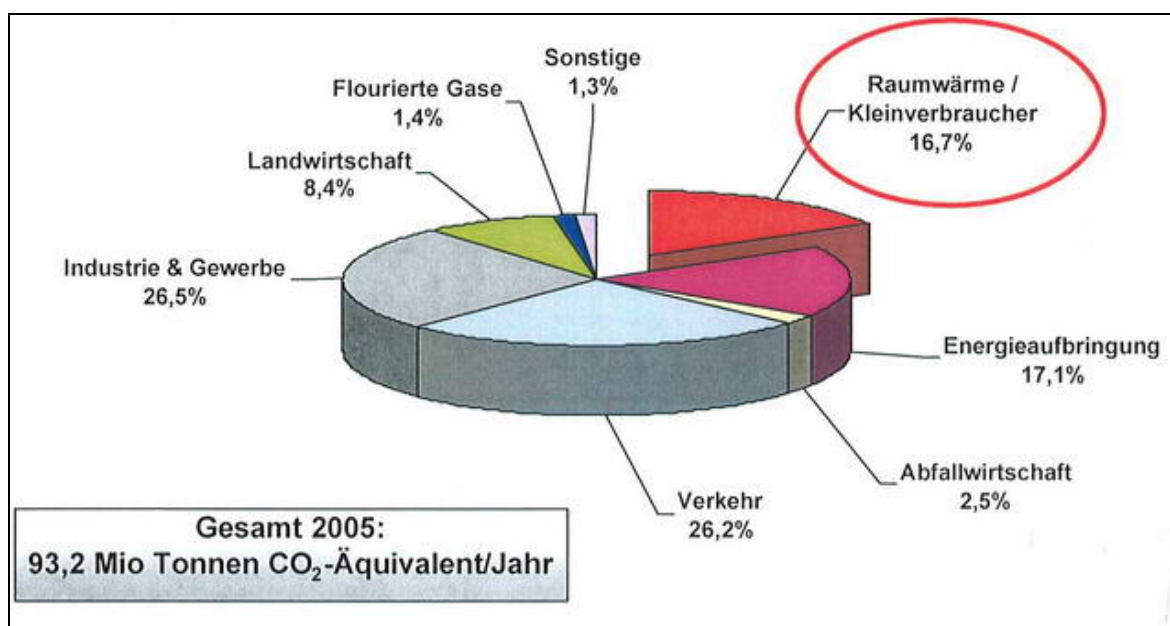


Abbildung 2: Treibhausgas-Emission in Österreich 2005¹⁵

¹⁰ Direkte Nutzung der Solarenergie, wie z.B. Sonnenkollektoren und Photovoltaik
Indirekte Nutzung, wie z.B. Biomasse, Biogas, Windenergie etc.

¹¹ Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energie Strategie Österreich, 2009
http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf eingesehen am 2.6.2010

¹² Baupolitische Leitsätze des Landes Steiermark 2009, Link:
<http://www.biomasseverband.at/static/mediendatenbank/root01/7.%20Publikationen/34%20Prozent%20EE.pdf> eingesehen am 2.6.2010

¹³ Vgl. Faninger, Gerhard; Wärmeversorgung von Gebäuden, Januar 2009, Link: <http://www.aee-intec.at/Uploads/dateien644.pdf> eingesehen am 31.5.2010.

¹⁴ Vgl. Klimaschutzbericht 2010, in: Presse, 1.Juni 2010, Wien, Link:
http://www.umweltbundesamt.at/presse/lastnews/newsarchiv_2010/news100601/ eingesehen am 2.6.2010

¹⁵ Quelle: Umweltbundesamt 2006

Im Sektor Wärmeversorgung von Gebäuden gibt es ein großes Einsparpotential mit Maßnahmen, wie der Solarthermie, und damit einen großen Beitrag zur Senkung von Treibhausgas-Emissionen.

Die Marktentwicklung der Solarthermie in Österreich ist durch stark wachsende Verkaufszahlen gekennzeichnet. Die historische Marktentwicklung in Österreich ist in Abbildung 3 dargestellt und zeigt deutlich den dominanten Kollektortyp.

Von den bisher insgesamt in Österreich installierten und in Betrieb befindlichen Kollektorflächen entfallen 62% auf Anlagen zur Trinkwarmwasserbereitung im Einfamilienhausbereich. Im Jahr 2008 waren die Einfamilienhäuser mit 297.600 m², das entspricht 82% der installierten Kollektorfläche, nach wie vor der größte Markt für thermische Solaranlagen.¹⁶

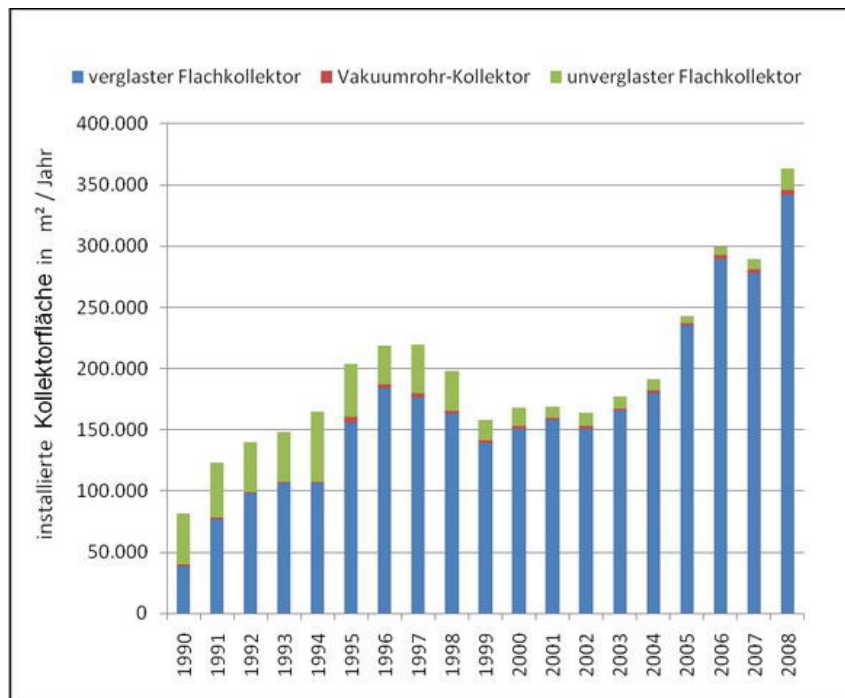


Abbildung 3: Marktentwicklung der Solarthermie in Österreich¹⁷

In Österreich wird nur ein Prozent des Wärmebedarfes für die Trinkwarmwassererwärmung und Raumheizung mit thermischen Solaranlagen gedeckt. Es bestehen also noch große Potenziale der thermischen Solarenergienutzung, einer Technologie mit dem höchsten Reduktionspotenzial an Treibhausgasen und das ohne kritische Nebeneffekte.¹⁸

¹⁶ Vgl. Biermayer, Peter; et al.: Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpen, in: Erneuerbare Energie in Österreich, Marktentwicklung 2008, Seite 41f, Link: [Erneuerbare Energie in Österreich - Marktentwicklung 2008](http://www.aee.at/index.htm?publikationen/zeitung/verzeichnis.php)

¹⁷ Datenquelle: bis 2006: Faninger (2007); Werte ab 2007: AEE INTEC

¹⁸ Vgl. Weiss, Werner: Welchen Beitrag kann die Solarthermie in einem nachhaltigem Energiesystem leisten ?, in: Erneuerbare Energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, 01/2008, Link: <http://www.aee.at/index.htm?publikationen/zeitung/verzeichnis.php>

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Diplomarbeit soll die gesamtheitlichen Aspekte im Bereich der Solarthermie am Beispiel einer Kleinanlage, der Trinkwassererwärmung in einem Einfamilien-Haushalt, beleuchten.

Eine betriebswirtschaftliche Betrachtung, durchgeführt mit Hilfe der klassischen Investitionsrechenverfahren mit anschließender Sensitivitätsanalyse, soll für einen Investor herausfinden, welches der Rechenverfahren für eine transparente Entscheidungsfindung geeignet ist.

Nach der ökonomischen Betrachtung soll eine gesamtheitliche Betrachtung die Nachhaltigkeit einer solarthermischen Anlage bewerten. Dazu wird eine energetische Bewertung mit anschließender umweltbezogener und volkswirtschaftlicher Bewertung durchgeführt.

1.3 Methodische Vorgehensweise

Nach einer kurzen Einleitung über die globalen Zusammenhänge und der aktuellen Umweltsituation werden die verschiedenen Technologien und Konzeptionen der Trinkwassererwärmung dargestellt.

Im anschließenden Kapitel soll ein Überblick über den heutigen Stand der Technik, mit Definitionen der in dieser Arbeit verwendeten Begriffe, gegeben werden.

Vor dem Kapitel der Planung und Auslegung von Trinkwarmwassererwärmungsanlagen werden in je eigenen Kapiteln die gesetzlichen und finanziellen Rahmenbedingungen sowie die Grundlagen für eine ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dargestellt.

Im Kapitel Planung und Auslegung wurde für die energetischen Berechnungen der Anlagen ein Referenzhaushalt mit standardmäßigen Trinkwarmwasseranlagen (mit / ohne Solaranlage) mit Berechnungsgrundlagen definiert.

Für die Errichtung einer fiktiven Solaranlage wurden für die Ermittlung der Anschaffungskosten Angebote eingeholt und die jährlich anfallenden betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten in einem eigenen Kapitel berechnet.

Im nächsten Kapitel wird eine gesamtheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit der solarthermischen Trinkwarmwassererwärmungsanlage durchgeführt. Die betriebswirtschaftliche Bewertung erfolgte mit den klassischen Investitionsrechenverfahren (statische Amortisationsmethode, Kapitalwertmethode, Annuitätsmethode, interne Zinsfußmethode und dynamische Amortisationsrechnung), wobei herausgefunden werden soll, welches Rechenverfahren ein nachvollziehbares Ergebnis für einen privaten Investor liefern kann.

Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse soll aufgezeigt werden, in welchem Umfang mit Unsicherheit behaftete Berechnungsparameter auftreten dürfen, ohne dass dadurch die Entscheidungsfindung beeinflusst wird. Ergänzend erfolgt eine gesamtheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit der solarthermischen Anlage. Dazu wurde eine energetische, umweltbezogene und volkswirtschaftliche Bewertung durchgeführt. Diese Betrachtung der Nachhaltigkeit dient weniger einem möglichen privaten Investor, sondern eher für energiepolitische Entscheidungen bzw. Maßnahmen. Sie kann aber auch ein Entscheidungsimpuls für einen ökologisch und sozial denkenden Investor sein.

Im letzten Kapitel werden die Ergebnisse der ganzheitlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zusammengefasst und münden in einer Empfehlung für einen Entscheidungsprozess.

Literaturhinweise, Internetadressen und ein Verzeichnis über Hersteller von Sonnenkollektoren bilden den Schluss der Diplomarbeit.

2. Stand der Technik

2.1 Begriffe und Definitionen

Boiler:

Kleiner, überwiegend elektrisch beheizter Warmwasserspeicher bis max. 200 Liter Inhalt

CO₂-Äquivalent:

Der Einfluss sämtlicher klimarelevanter Treibhausgase wird durch die Bildung von Äquivalentwerten berücksichtigt, den sogenannten CO₂-Äquivalenten. Sie entsprechen der Menge an CO₂-Emissionen, die das gleiche Treibhausgaspotential aufweisen, wie die Summe aller treibhausaktiven Emissionen.¹⁹

CO₂-Äquivalent-Emissionsfaktor (CO₂-Faktor):

Wird auf Basis der Endenergiebedarfswerte der jeweiligen Energieträger in g/ kWh_{ee} berechnet.²⁰

Energiequelle:

Ist in einem abgeschlossenen System das Element, welches die Energie, meist durch Umwandlung aus einer anderen Energieform, zur Verfügung stellt (z.B. die Sonne ist die wichtigste Energiequelle für die Erde)

Energieträger:

Werden im engeren Sinn Rohstoffe oder Stoffe bezeichnet, die in chemischer oder nuklearer Form Energie speichern und daher für die Energiegewinnung oder den Energietransport nutzbar gemacht werden bzw. werden können. (z.B. die Sonne stellt ihre Energie in Form von Strahlung (Energieträger) zur Verfügung)

Primärenergie:

Kommt in der Natur direkt vor, wie Stein- und Braunkohle, Erdöl, Erdgas, aber auch Holz, Torf und Sonnenstrahlung. Sie sind keiner Umwandlung unterworfen.²¹

¹⁹ Vgl. Umweltbundesamt; Chancen und Grenzen eines Bewertungssystems auf Basis der Primärenergie, Link: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien719.pdf> eingesehen am 26.6.2010

²⁰ Vgl. Datenbank-powerhouse.db, Link: http://www4.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248.id_38.s_Papers.fb15 eingesehen am 26.6.2010

²¹ Vgl. Umweltbundesamt Österreich, Was ist Energie, Link: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/energie/wasistenergie/> eingesehen am 2.6.2010

Primärenergieeinsatz:

Auch kumulierter Energieaufwand (KEA) genannt, ist eine Maßzahl für den Energieresourcenaufwand entlang einer Prozesskette bis zur Bereitstellung von Endenergie beim Nutzer.²²

Primärenergiefaktor (PEF):

Gibt den Primärenergieaufwand für die Bereitstellung des Energieträgers, unter Berücksichtigung des Energieinhalts des Rohstoffs und der vorgelagerten Prozessketten²³, wieder.

$PEF = \text{Primärenergie} / \text{Endenergie} [kWh_{Pr} / kWh_{ee}]$

Sekundärenergie:

Wird in den meisten Fällen von Primärenergie in Kraftwerken oder Raffinerien umgewandelt. Sekundärenergie ist Energie, die als Ergebnis eines Umwandlungsprozesses und unter Energieverlust aus Primärenergie gewonnen wird.(z.B. Koks, Briketts, Strom, Fernwärme, Heizöl oder Benzin)²⁴

Endenergie:

Ist die Energie am Ort des Verbrauches, nach der gebäudebezogenen Abgabeeinrichtung.

Nutzenergie:

Wird unter Verlusten aus Endenergie umgewandelt (z.B. Heiz – und Prozesswärme, Licht sowie mechanische Energie)

Energieverluste:

Energie, die in der nächsten Energieumwandlungsstufe nicht mehr direkt zur Verfügung steht. In der Physik wird dafür der Begriff "Entropie" definiert.

Nachhaltigkeit:

Bedeutet die Bedürfnisse der heutigen Zeit so zu befriedigen, dass nachfolgende Generationen ein intaktes ökologisches, soziales und ökonomisches System vorfinden und somit dieselben Möglichkeiten haben ihre Bedürfnisse zu befriedigen (Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit).²⁵

²² Vgl. Umweltbundesamt; Chancen und Grenzen eines Bewertungssystems auf Basis der Primärenergie, Link: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien719.pdf> eingesehen am 25.6.2010

²³ Vgl. Datenbank-powerhouse.db, Link: http://www4.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248.id_38.s_Papers.fb15 eingesehen am 26.6.2010

²⁴ Vgl. Umweltbundesamt Österreich a.a.O.

²⁵ Vgl. Technische Universität Darmstadt, Link: http://www.intern.tu-darmstadt.de/dez_iv/nachhaltigkeit_2/einfhrung/index.de.jsp eingesehen am 2.6.2010

Stand der Technik:

Stellt die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt, basierend auf gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft und Technik dar

Solarspeicher, bivalent:

Warmwasserspeicher mit zwei Heizeinsätzen. Im unteren Teil Wärmetauscher für die Solarenergie aus dem Kollektorkreis und im oberen Teil z.B. die Nachwärmung über einen elektrischen Heizkörper.

Solarenergie, direkte Nutzung:

Z.B. Solarthermie, Photovoltaik

Solarenergie, indirekte Nutzung:

Z.B. Windenergie, Biomasse, Biogas

Solarenergie, passive Nutzung:

Z.B. Solararchitektur, transparente Wärmedämmung

Treibhausgaseffekt, natürlicher:

Erklärung: Die Sonnenstrahlen, die hauptsächlich im kurzwelligen, sichtbaren Wellenbereich liegen, passieren die Erdatmosphäre ohne größere Absorption. Die durch die Sonnenstrahlung erwärmte Erdoberfläche gibt Wärmestrahlen ab, die längerwellig sind. Diese werden in der Atmosphäre teilweise von Spurengasen absorbiert und wieder auf die Erdoberfläche reflektiert. Die zugefügte Menge an Energie zur Erdoberfläche muss mit der abgeführten Energiemenge im Einklang stehen. Um dieses energetische Gleichgewicht zu erhalten, ist die Temperatur der Erdoberfläche höher als im Falle der Abwesenheit von Treibhausgasen. Dieser natürliche Treibhausgaseffekt führt dazu, dass nicht eine globale Mitteltemperatur von -18 °C sondern von +15 °C auf der Erde vorzufinden ist.²⁶

Trinkwasser-Erwärmer (TWE):

Funktionseinheit zur Erwärmung und gegebenenfalls Speicherung von Trinkwasser²⁷

Trinkwasser-Erwärmungsanlage (TWE-Anlage):

Anlage, die aus Trinkwasser-Erwärmer und Verteilsystem besteht.²⁸

Globalstrahlung:

Ist die Summe von direkter und diffuser Sonnenstrahlung, die auf eine horizontale Ebene auf der Erde fällt.²⁹

²⁶ BHKW-Infozentrum Rastatt, Link: <http://www.bhkw-infozentrum.de/erlaeuter/treibhausgas.html> eingesehen am 6.6.2010

²⁷ ÖNORM B 5019, 2007

²⁸ Ebenda

²⁹ Vgl. Eberle, Ulrich: Lernsituation Energie- und Gebäudetechnik, 3.Auflage, Hamburg 2009, S. 392

Wassererwärmer – Durchflussprinzip:

Sind Wassererwärmer, in denen das Trinkwasser während der Entnahme /des Durchflusses erwärmt wird.³⁰

Wassererwärmer – Speicherprinzip:

Sind Wassererwärmer, in denen das Trinkwasser im Wesentlichen vor der Entnahme erwärmt und zur Verwendung bereit gehalten wird.³¹

Warmwasser:

Erwärmtes Trinkwasser

Warmwasser – Einzelversorgung:

Die Einzelversorgung dient der Versorgung einer Entnahmestelle mit erwärmten Trinkwasser aus einem Wassererwärmer

Warmwasser – Gruppenversorgung:

Bei dieser Art werden meist zwei, im Allgemeinen nahe beieinander liegende Entnahmestellen, über eine gemeinsame Warmwasserverteilung aus einem Wassererwärmer versorgt.

Warmwasser – Wohnungszentrale Versorgung:

Bei dieser Art der Versorgung erfolgt die Erzeugung von erwärmtem Trinkwasser für alle Warmwasser-Zapfstellen in dieser Wohnung bzw. in einem nur dieser Wohnung zugeordneten Raum.

Warmwasser – Zentrale Versorgung:

Eine zentrale Versorgung liegt vor, wenn die Warmwasser-Entnahmestellen über ein gemeinsames Leitungsnetz von einem Wassererwärmungssystem in dem Gebäude bzw. in dem zu betrachtenden Gebäudeabschnitt zentral versorgt werden

Zirkulationsleitung:

Zusätzliche Leitung, die das Verteilsystem schließt und damit einen ständigen Kreislauf des erwärmten Trinkwassers ermöglicht sowie keine direkte Entnahmestelle beinhaltet³².

³⁰ Vgl. DIN 4753 Teil 1, März 1988, S. 2

³¹ Vgl. ebenda

³² ÖNORM B 5019, 2007

2.2 Warmwasserversorgungskonzepte

In diesem Kapitel soll ein Überblick der Warmwasserversorgung in Wohnhäusern, in einem für diese Arbeit erforderlichen Umfang, gegeben werden, um so Entscheidungen und Annahmen für die Konzipierung und Berechnungen von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen besser nachvollziehen zu können. Diese Arbeit stellt daher im Bezug auf Wasserversorgungskonzepte keinen Anspruch auf Vollständigkeit dar.

Die **Aufgabe** der Warmwasserversorgung besteht in der Erzeugung von erwärmtem Trinkwasser und in der Verteilung zu den Entnahme -und Verbrauchsstellen.³³ Warmwasser ist im Trinkwasser-Erwärmer bis auf max. 90°C erwärmtes Trinkwasser. Im Haushalt wird es zum Waschen, Reinigen, Baden und zur Bereitung von Speisen und Getränken verwendet.

Die **Anforderungen** an die Warmwasserversorgung sind, Warmwasser mit der gewünschten Temperatur, Menge und Qualität ohne große Verzögerung zur Verfügung zu stellen.

Eine **Einteilung** der Warmwasserversorgung erfolgt nach der Anzahl und Lagezuordnung von Trinkwasser-Erwärmer und Warmwasser-Entnahmestellen. Dabei werden folgende Warmwasserversorgungsarten unterschieden:

Einzelversorgung:

„Jede Warmwasser-Entnahmestelle erhält einen eigenen Trinkwasser-Erwärmer“³⁴. In Abbildung 4 ist eine Einzelversorgung in einem Einfamilien-Haushalt schematisch dargestellt. Die Trinkwasser-Erwärmer können im Durchlauf- oder Speichersystem ausgeführt werden und sind meist elektrisch beheizt.

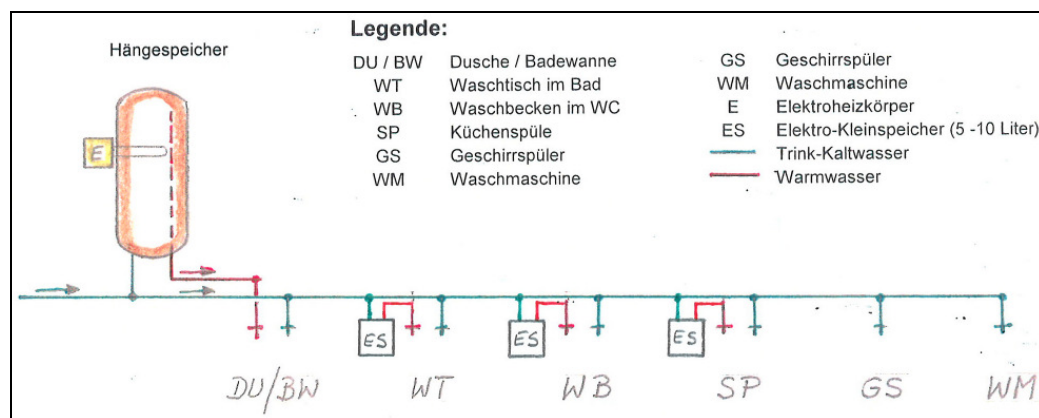


Abbildung 4: Prinzipdarstellung - Einzelversorgung

³³ Vgl. Feurich, Hugo: Sanitärtechnik, Band 2; 9.Auflage, Düsseldorf 2005, S.7-78

³⁴ Recknagel, Hermann; et al.: Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, 74.Auflage, München 2009, S. 1883

Vorteil: Warmwasserleitungen werden nicht benötigt oder sind sehr kurz. Wärmeverluste der Speicher und Rohrleitungen kommen in der Heizsaison dem Raum zugute.

Dezentrale Gruppenversorgung:

Bei dieser Art werden meist zwei, im Allgemeinen nahe beieinander liegende Entnahmestellen, über eine gemeinsame Warmwasserverteilung aus einem Trinkwasser-Erwärmer versorgt.³⁵ In Abbildung 5 ist eine dezentrale Gruppenversorgung in einem Einfamilien-Haushalt schematisch dargestellt. Verwendet werden Trinkwasser-Erwärmer im Durchlauf- oder Speichersystem, meist elektrisch beheizt. Dies ist eine besonders im Geschoß-wohnbau häufig ausgeführte Variante, bei welcher ein elektrisch beheizter Boiler³⁶ (100 – 200 Liter) im Badezimmer und ein elektrisch beheizter Kleinspeicher (5 – 10 Liter) in der Küche die Verbrauchsspitzen abdecken.

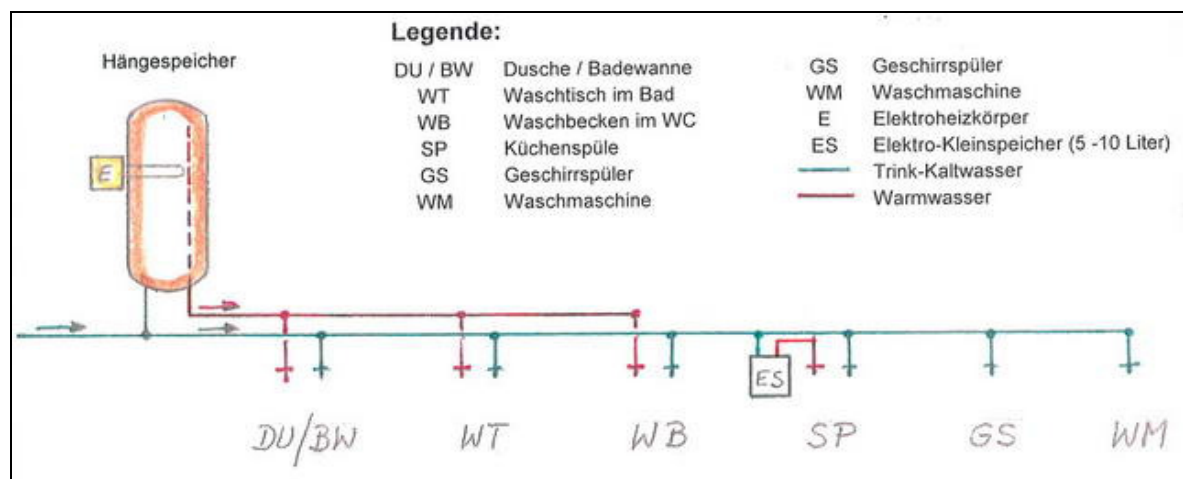


Abbildung 5: Prinzipdarstellung - Gruppenversorgung

Vorteil: kurze Leitungswege und - damit verbunden - geringe Wärmeverluste, welche in der Heizsaison wieder dem Raum zugutekommen.

Wohnungszentrale Versorgung:

Alle Warmwasser-Entnahmestellen einer Wohnung oder eines Einfamilienhauses werden über einen in der Wohnung oder im Haus befindlichen Erzeuger versorgt. Verwendet werden Trinkwasser-Erwärmer im Durchlauf- oder Speichersystem. Die Beheizung kann elektrisch oder mit der Wärmebereitstellungsanlage für die Raumheizung erfolgen. (z.B. Fernwärme, Gaskesselanlage etc.) Die Aufstellung der Trinkwasser- Erwärmer erfolgt, insbesondere in Einfamilienhäusern, meist im Heizraum oder bei der Fernwärmeübergabestation.

³⁵ VDI 2067 Blatt 22, a.a.O., S. 3

³⁶ Die elektrische Beheizung erfolgt oft in Niedertarifzeiten (Nachtstrom)

Nachteil einer zentralen Warmwasserversorgung sind die Wärmeverluste bei zu langen Verteilleitungen. Diese lassen sich durch eine optimierte Wärmedämmung minimieren, jedoch bei entsprechend langer Standzeit kühlt das Wasser in der Leitung ab. Wird die Warmwasser-Armatur betätigt strömt vorerst kaltes Wasser und nach einer Wartezeit, abhängig von der Leitungslänge, heißes Wasser aus. Neben dem Wasserverlust bringt das auch einen erheblichen Komfortverlust. Deshalb soll schon in der Planungsphase gemeinsam mit dem Architekten und dem Sanitärtechnikplaner eine optimale Raumanordnung (Heizraum – Bad – WC – Küche) gewählt werden, um so kurze Leitungswege zwischen dem Wassererwärmer und den Entnahmestellen zu erhalten und auf teure Warmhalteeinrichtungen, wie z.B. einer Zirkulationsleitung, verzichten zu können.

Folgende Regel sollte eingehalten werden:

Inhalt ≤ 3 Liter in jeder Rohrleitung zwischen dem Abgang des Wassererwärmers und der Entnahmestellen.³⁷

Welche Größenordnung die Wärmeverluste einer Zirkulationsleitung annehmen können, soll ein Berechnungsbeispiel in Abbildung 6 zeigen:

Berechnungsannahme:		
Elektrisch beheizter Wassererwärmer		
Leitungslänge zwischen Wassererwärmer und Entnahmestelle	20 m	
Länge der Zirkulationsleitung	20 m	
Durchschnittlicher Wärmeverlust der wärmedämmten Rohre	6 W/m	
jährliche Betriebszeiten	5.840 Std./a	
Elektrische Leistung der Zirkulationspumpe	10 W	
Strompreis (siehe Kapitel 3.3.)	18,3 Ct/kWh	
Berechnung:		
Wärmeverluste:		
$(20+20) \text{ m} \times 6 \text{ W/m} \times 5.840 \text{ h/a} \times 0,001 \text{ kW/W} =$	1.402 kWh/a	
Pumpenergie:		
$10 \text{ W} \times 5.840 \text{ h/a} \times 0,001 \text{ kW/W} =$	58 kWh/a	
Stromkosten:		
$(1402 + 58) \text{ kWh/a} \times 0,183 \text{ €/kWh} =$	267 €/a	

Abbildung 6: Berechnungsbeispiel: Wärmeverluste einer Zirkulationsleitung

Eine Wohnungszentrale Versorgung in einem Einfamilien-Haushalt ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt:

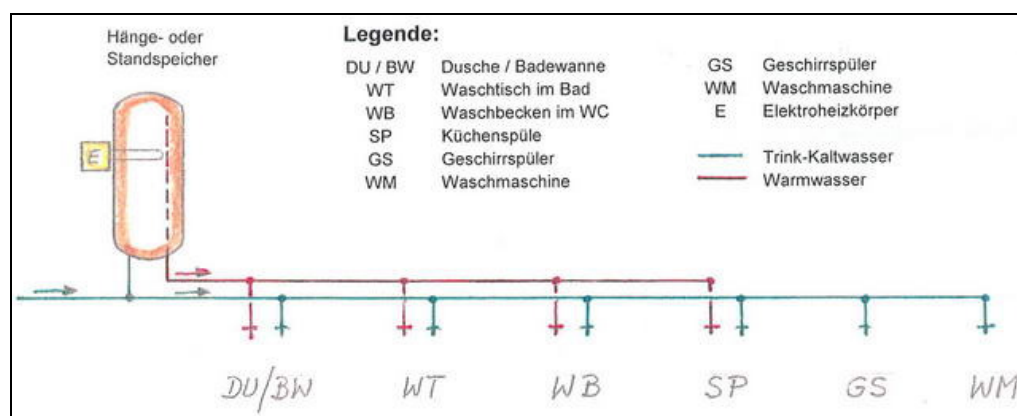


Abbildung 7: Prinzipdarstellung – Wohnungszentrale Versorgung

³⁷ Vgl. DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 551

Vorteile einer optimal gewählten Raumanordnung sind neben kürzerer Leitungsführung und geringeren Wärmeverlusten auch geringere Errichtungskosten für die Wasserentsorgung sowie geringe Kosten für die Wartung und Instandhaltung, die Minimierung des Schadenrisikos, eine einfach nachvollziehbare Rohrführung, Minimierung des Legionellen Infektionsrisikos und eine kurze Wartezeit an der Entnahmestelle nach Betätigung der Warmwasserarmatur.

Zentrale Versorgung:

Eine zentrale Versorgung liegt vor, wenn die Warmwasser Entnahmestellen über ein gemeinsames Leitungsnetz von einem Wassererwärmungssystem in dem Gebäude bzw. in dem zu betrachtenden Gebäudeabschnitt zentral versorgt werden.³⁸ Die zentrale Versorgung wird in größeren Gebäuden (z.B. Mehrfamilienwohnhäusern) ausgeführt. Damit das Rohrnetz während langer Entnahmepausen nicht auskühlt, werden entweder eine Zirkulation oder eine Begleitheizung vorgesehen.

In vorliegender Arbeit wird die zentrale Warmwasserversorgung nicht behandelt und ist nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Eine **andere Einteilung** der Warmwasserversorgung zeigt Abbildung 8:

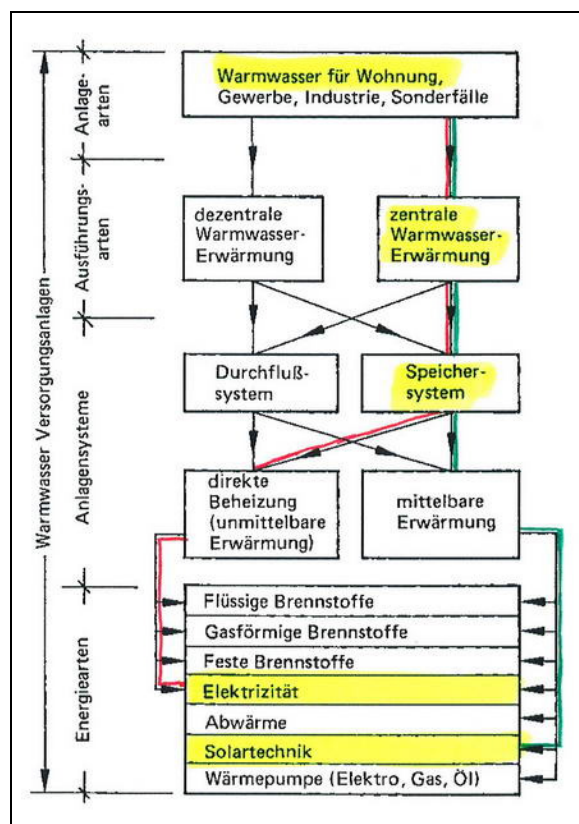


Abbildung 8: Übersicht über die Arten von Wassererwärmungsanlagen³⁹

³⁸ VDI 2067 Blatt 22., S. 5

³⁹ Quelle: Recknagel, Hermann; et al.: Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, 74. Auflage, München 2009, S. 1450

Grundsätzlich wird zwischen zentralen und dezentralen Ausführungsarten der Trinkwassererwärmung unterschieden. Ist eine zentrale Trinkwassererwärmung geplant oder vorhanden, ist eine Solaranlage oder eine andere alternative Energieversorgung mit einfachem Installationsaufwand möglich. Bei einer bestehenden dezentralen Trinkwassererwärmung ist der Umbau zu einer zentralen Anlage nur mit großem Installationsaufwand und bauseitigen Leistungen durchführbar und nur im Zuge einer größeren Sanierung zu realisieren.

Die nächsten Kapiteln beschränken sich daher auf die Wohnungszentrale Versorgung.

2.3 Elektrisch beheizte Trinkwassererwärmung

In der wohnungszentralen Warmwasserversorgung werden hauptsächlich geschlossene Warmwasserbereiter nach dem Speichersystem ausgeführt. Der Vollständigkeit halber seien auch noch die Elektrodurchflusswassererwärmer und Elektrodurchlaufspeicher (Kombination aus Durchfluss- und Speichersystem) erwähnt, diese kommen jedoch im Einfamilienhausbereich selten zur Ausführung.

Elektrowarmwasserspeicher sind wärmegeädämmte Behälter mit eingebautem elektrischen Heizkörper und den erforderlichen Sicherheitseinrichtungen. Für die Materialwahl ist eine chemisch-physikalische Trinkwasseranalyse erforderlich, auch um eine Entscheidung über eine allfällig notwendige Nachbehandlung (z.B. Enthärtung) des Trinkwassers zu treffen. Aus hygienischen Gründen soll die Warmwassertemperatur $\geq 60^\circ\text{C}$ betragen und 50°C nicht unterschreiten.

Für den Einfamilien-Haushalt stehen je nach Haushaltsgröße Elektrospeicher, ausgeführt als Hängespeicher bis max. 150 Liter und als Standspeicher bis max. 500 Liter Inhalt, zur Verfügung.

2.4 Solarunterstützte Trinkwassererwärmung

Die solare Trinkwassererwärmung stellt den idealen solarthermischen⁴⁰ Anwendungsfall dar. Die Voraussetzungen sind hier besonders günstig, da der Trinkwasserwärmebedarf eines Haushaltes über das Jahr annähernd konstant ist. Im Einfamilien-Haushalt sind 60% solare Deckung vom Gesamtenergieaufwand für die Trinkwarmwasserbereitung mit einer richtig dimensionierten Anlage zu erreichen und eine sinnvolle, anzustrebende Größenordnung.

Das Standardsolarsystem für die Trinkwassererwärmung in einem Einfamilienhaus ist in Abbildung 9 dargestellt. In den folgenden Kapiteln werden die Funktion einer Solaranlage mit elektrischer Zusatzheizung, mögliche Systemvarianten und die wesentlichen Komponenten von Solaranlagen beschrieben.

⁴⁰ Thermie, griechisch = Wärme

2.4.1 Funktionsbeschreibung

Die eingestrahlte Sonnenenergie wird mittels sogenannten Kollektoren (= Sammler) (1) in Wärmeenergie umgewandelt. Diese Wärme wird über ein Wärmeträgermedium vom Kollektor durch Rohrleitungen in einen Speicher (bivalenter Solarspeicher) (12) transportiert, in dem die Wärme über Wärmetauscher (2) an das Trinkwasser übertragen wird. Das über den Wärmetauscher abgekühlte Wärmeträgermedium wird mit Hilfe einer Pumpe (8) wieder dem Kollektor zugeführt und damit der Solarkreis geschlossen.

Eine elektronische Steuereinheit (10) sorgt dafür, dass die Pumpe immer dann eingeschaltet wird, wenn am Kollektorfühler eine höhere Temperatur als am Speicherfühler gemessen wird.

Als Wärmeträger im Kollektorkreis kommt Propylenglykol im Mischungsverhältnis von 40% Wasser zu 60% Frostschutzmittel zum Einsatz. Das entspricht einer Frostsicherheit bis minus 24 °C. Eine Ausnahme stellt die „Drain Back“ – Anlage dar (siehe Kapitel 2.4.2.). Das Ausdehnungsgefäß (3) hat die Aufgabe, die Ausdehnung des Wärmeträgers bei Temperaturerhöhung aufzunehmen und soll im Stagnationszustand (Erklärung siehe unten) und bei Dampfbildung im Kollektor ein Ansprechen des Sicherheitsventils (4) zu verhindern.

Eine Schwerkraftbremse (9) verhindert bei Stillstand der Anlage den Rückfluss der Wärme über die Kollektoren und damit ein Auskühlen des Speichers. Ein Entlüftungsventil (7) wird an höchster Stelle montiert, damit die in der Leitung vorhandene Luft entweichen kann. Zur weiteren Grundausstattung der Anlage gehören je ein Thermometer in der Vor- und Rücklaufleitung, sowie Manometer, Absperr- und Füllhähne.

Durch den Einbau einer elektrischen Zusatzheizung (11) steht auch bei anhaltendem Schlechtwetter genügend Warmwasser zur Verfügung.

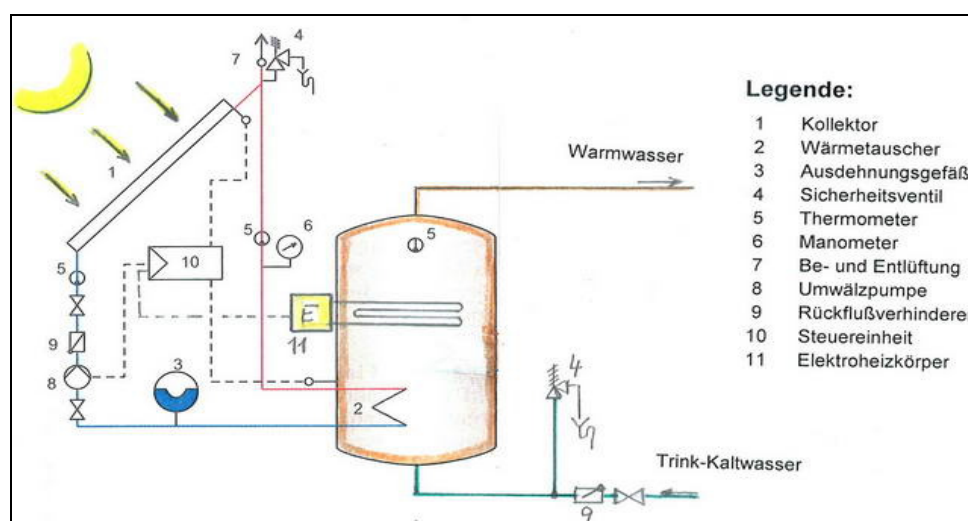


Abbildung 9: Prinzipdarstellung einer Solaranlage

Eine Anlage befindet sich im Stagnationszustand, wenn die Kollektorkreispumpe (8) nicht in Betrieb ist, die Einstrahlung aber zu einer weiteren Erwärmung führt. Dieser Zustand kann infolge eines technischen Defektes im System, durch einen Stromausfall oder einfach durch einen fehlenden Verbrauch auftreten. Flachkollektoren erreichen z.B. Stillstandstemperaturen von 160 bis 220 °C, Vakuumröhrenkollektoren je nach Ausführung 160 °C oder 300 °C. Grundsätzlich sind Kollektoren so konstruiert und die Anlage so aufgebaut, dass sie diesen hohen Temperaturen standhalten. Trotzdem sind dies Extremzustände, die sich auf die Lebensdauer einschränkend auswirken. Durch eine sinnvolle Dimensionierung der Anlage können solche Anlagenstillstände auf ein Minimum reduziert werden. Ganz vermeiden lassen sie sich - besonders im Einfamilienhausbereich – nicht.⁴¹

2.4.2 Systemvarianten

Nachfolgend sind mögliche Solarsysteme zur Trinkwassererwärmung im Einfamilienhausbereich mit elektrischer Zusatzheizung dargestellt.

Standard-Solaranlage:

Das Standard-Solarsystem ist in Abbildung 10 dargestellt:

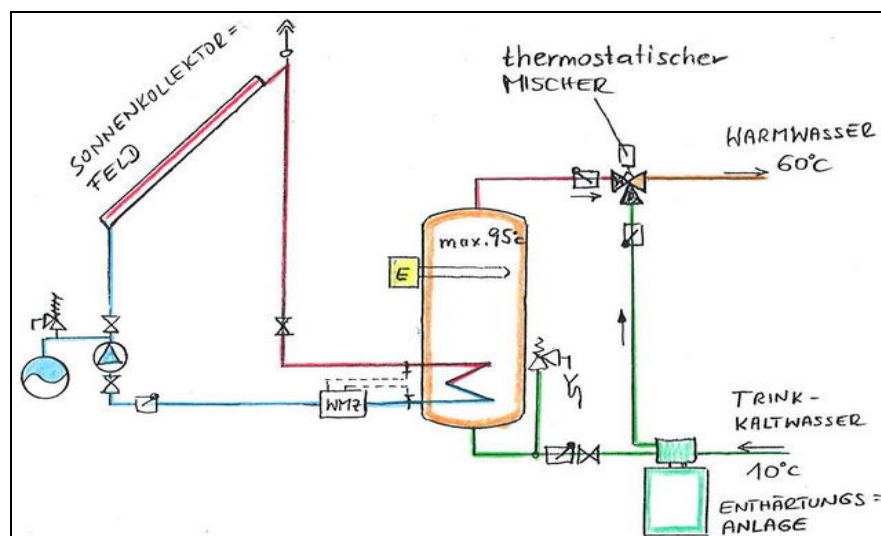


Abbildung 10: Standard Solarsystem

Da bei guter Einstrahlung im Speicher Temperaturen bis zu 95 °C auftreten können – sofern die Speichertemperatur zur Vermeidung von Kalkablagerungen nicht auf 60 °C begrenzt ist - muss zur Vermeidung von Verbrühungen ein thermostatischer Mischer zur Temperaturbegrenzung auf max. 60 °C in die Warmwasserleitung eingebaut werden. Weiters ist bei Speichertemperaturen >60 °C der Einbau einer Enthärtungsanlage zu empfehlen.

⁴¹ Vgl. Feurich, Hugo: Sanitärtechnik, Band 2; 9. Auflage, Düsseldorf 2005, S.7- 80

Die Karbonathärte des Grazer Trinkwassers, beträgt 10,5 bis 14 °dH⁴² (siehe Anhang A).. Gemäß ÖNORM EN 14743 wird eine Enthärtung lt. nachfolgender Tabelle 1 in folgenden Anwendungsbereichen als sinnvoll erachtet:

Tabelle 1: Anwendungsbereich von Enthärtungsanlagen⁴³

Carbonathärte	Enthärtung
unter 10 °dH	nicht sinnvoll
10 °dH bis 16 °dH	sinnvoll, wenn die Temperatur im Warmwasserbereiter 70 °C überschreiten muss
über 16 °dH	sinnvoll, insbesondere bei Warmwasser

Eine Begrenzung der Speichertemperatur würde aber auch eine Minderung des solaren Ertrags bedeuten.

Um die Förderungsvoraussetzungen des Landes Steiermark zu erfüllen, ist für die Ermittlung des solaren Ertrags ein Wärmemengenzähler (WMZ) einzubauen (vgl. Kapitel 3.2.).

In Bezug auf die Wärmeträgerumwälzung im Solarkreis, unterscheidet das Solarsystem folgende Anlagentypen:

„High Flow“ - Anlagen:

Diese weisen einen typischen Massenstrom von ca. 21 bis 70 kg pro m² Kollektorfläche je Stunde auf. Infolge der großen Umwälzmenge bleibt die Temperaturerhöhung zwischen Kollektoreintritt und –austritt gering. Der Kollektor muss sich von einem niederen Temperaturniveau auf das Nutztemperaturniveau, gleichmäßige Einstrahlung vorausgesetzt, hocharbeiten.

Einsatzbereich: Kleine Anlagen (Einfamilienhaus)

„Low Flow“ – Anlagen:

Diese arbeiten mit einem geringeren Massenstrom von ca. 5 bis 20 kg pro m² Kollektorfläche je Stunde, und erreichen bereits nach einem Kollektordurchlauf das Nutztemperaturniveau. Aufgrund der geringen Volumenströme ergeben sich geringere Rohrdimensionen und damit geringere Investitionskosten und kleinere elektrische Pumpleistungen.

Einsatzbereich: Kleine bis große Anlagen.

⁴² Graz AG: Trinkwasserqualität, Link: http://www.grazag.at/de/wasser/service_wasserqualitaet.html eingesehen am 9.6.2010.

⁴³ Vgl. ÖNORM EN 14743, Anlagen zur Behandlung von Trinkwasser innerhalb von Gebäuden – Enthärter, 2007

„Matched Flow“ – Anlagen:

Eine Kombination aus beiden oben angeführten Betriebsweisen. Mittels einer drehzahlge-
regelten Pumpe wird der Volumenstrom je nach Bedarf gesteuert.

Einsatzbereich: Große Anlagen

„Drain Back“- Anlage:

„Drain Back“ bedeutet, dass im drucklos betriebenen, geschlossenen Solarkreis bei aus-
geschalteter Pumpe der Kollektor leer läuft. Es befindet sich kein Wärmeträger mehr im
Kollektor, der bei Frost gefrieren könnte. Somit wird das Frostschutzmittel im Kollektor-
kreis überflüssig. Das aus dem Kollektor strömende Wasser wird (siehe Abbildung 11) in
einem Bevorratungsbehälter gesammelt. Sobald der Solarregler die Pumpe wieder startet,
wird es von dieser wieder in den Kollektorkreis zurückgepumpt⁴⁴. Der Einbau eines Aus-
dehnungsgefäßes, eines Sicherheitsventils und einer Schwerkraftbremse ist nicht erfor-
derlich. Bezüglich Verkalkung gilt dasselbe wie oben erwähnt.

Vorteil:

Es besteht keine Frostgefahr und ein Überhitzen des Wärmeträgers wird verhindert. Diese
Anlage kann mit normalem Wasser befüllt und betrieben werden.

Nachteil:

Wegen der großen Förderhöhe und relativ kleinen Fördermenge werden meist Zahnrad-
pumpen, die im Gegensatz zu den üblichen Kreispumpen sehr laut sind, eingesetzt.
Eine sorgfältige Verlegung der Rohre mit dem nötigen Gefälle ist notwendig.

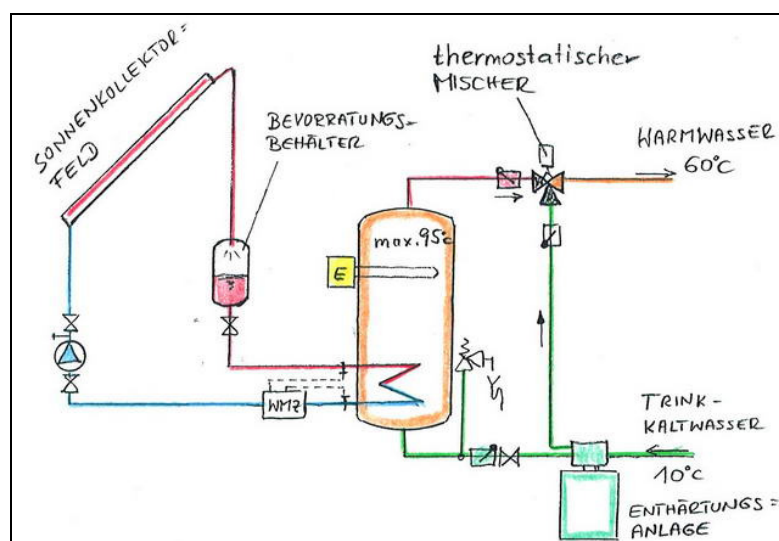


Abbildung 11: „Drain Back“- Anlage

⁴⁴ Feurich, Hugo: Sanitärtechnik, Band 2; 9. Auflage, Düsseldorf 2005, S. 7- 77

Energiespeicher-Anlage mit Warmwasserboiler:

Das in Abbildung 12 dargestellte Konzept sieht einen Pufferbehälter als Energiespeicher und einen kleineren Bereitschaftsspeicher mit eingebautem elektrischem Heizkörper vor. Der Warmwasserboiler wird über einen Zwischenheizkreis mit Wärme aus dem Energiespeicher beheizt. Gewählt wird diese Variante wenn bereits ein Boiler, mit optionalem Anschluss eines zusätzlichen Wärmetauschers, besteht oder auch an eine solare Heizungsunterstützung gedacht wird, welche über den Energiespeicher relativ einfach eingebunden werden kann.

Vorteil:

Es ist ein relativ einfach aufgebauter Pufferbehälter einsetzbar. Auf eine Enthärtungsanlage und auf einen thermostatischen Mischer kann verzichtet werden, wenn die Temperatur im Boiler auf max. 60 °C begrenzt wird.

Nachteil:

Hohe Wärmeverluste und hoher Installations- und Regelungsaufwand.

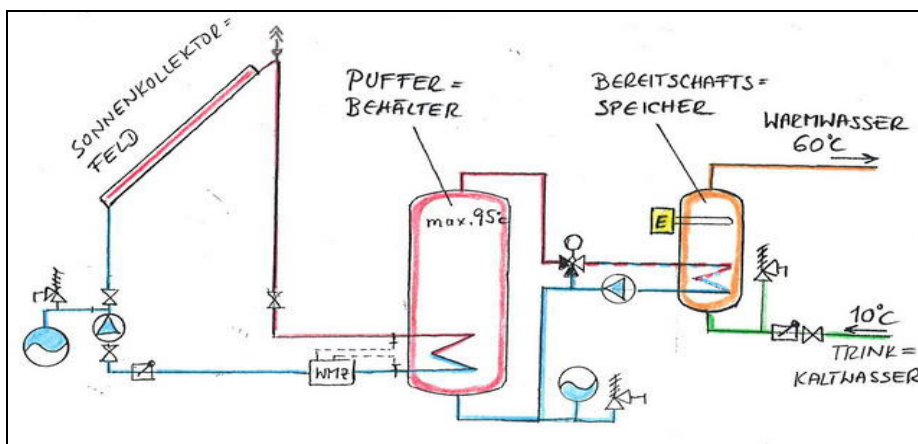


Abbildung 12: Energiespeicher-Anlage mit Warmwasserboiler

Energiespeicher-Anlage mit Warmwasser-Durchflusserwärmung:

Das Warmwasser wird über einen Plattenwärmetauscher und durchflussgesteuerten Temperaturregler unmittelbar bei Bedarf erwärmt (siehe Abbildung 13). Wenn die Leitungen zu den Entnahmestellen kurz gehalten werden, ist diese Lösung hygienisch unbedenklich. Der elektrische Heizkörper wird in diesem Fall in den Energiespeicher eingebaut. Gewählt wird diese Variante aus hygienischen Gründen oder wenn an eine solare Heizungsunterstützung gedacht wird, welche über den Energiespeicher relativ einfach eingebunden werden kann.

Vorteil:

Es ist ein relativ einfach aufgebauter Pufferbehälter einsetzbar. Auf eine Enthärtungsanlage und auf einen thermostatischen Mischer kann verzichtet werden, wenn die Temperatur im Boiler auf max. 60 °C begrenzt wird.

Nachteil:

Hohe Wärmeverluste und hoher Installations- und Regelungsaufwand.

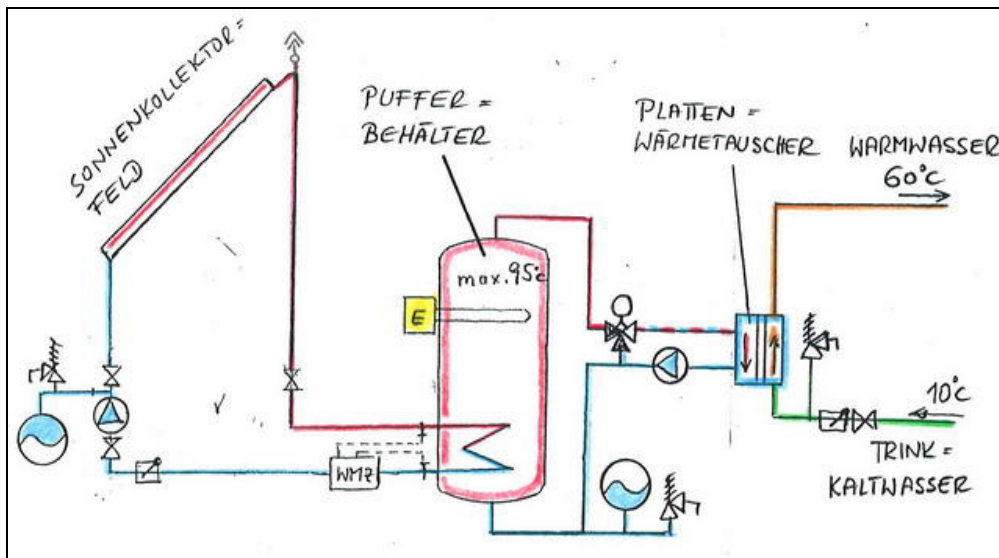


Abbildung 13: Energiespeicher-Anlage mit Warmwasser-Durchflusserwärmung

2.4.3 Komponenten solarthermischer Anlagen

2.4.3.1 Kollektoren, Absorber

Der Absorber ist das wichtigste Element eines Kollektors. Er hat vier Aufgaben⁴⁵:

- Sonnenstrahlen „einsammeln“,
- Licht in Wärme umwandeln,
- Wärme gegenüber der Umgebung festhalten,
- die Wärme an den Wärmeträger abgeben

Die Absorber werden hauptsächlich aus Kupfer, aber auch aus Aluminium oder Edelstahl hergestellt. Entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Absorbers ist die Beschichtung der Oberfläche.

⁴⁵ Vgl. Feurich, Hugo: Sanitärtechnik, Band 2; 9. Auflage, Düsseldorf 2005, S. 7- 81

Aufgrund ihrer Absorptions- und Emissionseigenschaften, Sonnenlicht von Wärmestrahlung (infrarote Wellen) unterscheiden zu können, werden diese Beschichtungen selektive (auswählende) Schichten genannt. Selektive Schichten erreichen Absorptionsgrade von über 95%. Die Emissionswerte liegen bei 5%, d.h. es werden nur 5% der physikalisch möglichen Wärmeabstrahlung abgestrahlt.⁴⁶

Im Wesentlichen kommen für die Trinkwassererwärmung zwei Arten von Kollektoren zum Einsatz:

- Flachkollektoren (verglast) und
- Vakuumröhrenkollektoren

Von den insgesamt in Österreich im Jahr 2008 installierten Kollektoren wurden ca. 94% als verglaste Flachkollektoren und nur ca. 1,3% als Vakuumröhrenkollektoren ausgeführt (vgl. Kapitel 1.1., Abb. 3). Nachfolgend wird auf den Flachkollektor, welcher auch die Basis für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung darstellt, etwas näher eingegangen, um Zusammenhänge bei der Dimensionierung verstehen zu können. Die Beschreibung des Vakuumkollektors beschränkt sich auf eine funktionale Beschreibung.

Flachkollektoren:

Flachkollektoren werden in unterschiedlichen Größen zwischen 0,5 bis 10 m² gefertigt. Je nach Montagemöglichkeit unterscheidet man: Aufdachmontage, Inndachmontage, Freiaufstellung (z.B. auf Flachdach) und Fassadenmontage.

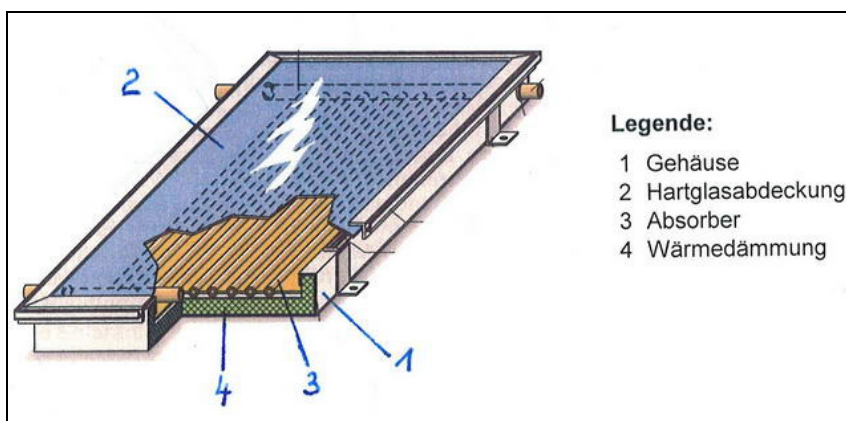


Abbildung 14: Flachkollektor⁴⁷

⁴⁶ Vgl. ebenda, S. 7- 28

⁴⁷ Quelle: Haidenbauer, Herbert; Winkelbauer, Gerald: Sanitär- und Klimatechnik – Gas- und Wasserinstallation, Wien 2003, S. 253

Allen gemein ist der Aufbau (siehe Abbildung 14):

- Gehäuse (1): bevorzugtes Material ist Aluminium, wobei aber auch Stahl, Holz und Kunststoff verwendet werden.
- Transparente Abdeckung (2): aus hochwertigem, entspiegeltem und hagelsicherem Solarglas. Solarglas ist ein eisenarmes und damit stärker lichtdurchlässiges Glas.
- Absorber (3): mit selektiver Beschichtung, wie oben beschrieben.
- Wärmedämmung (4): um Wärmeverluste möglichst gering zu halten.

In Abbildung 15 sind die Wärmeverluste von Sonnenkollektoren dargestellt. Im Einzelnen sind dies:

Optische Verluste: wie Reflexionen an der Glasabdeckung und am Absorber. Absorption in der Glasabdeckung und Emission von Wärmestrahlung vom Absorber.

Thermische Verluste: wie diffuse Wärmeabstrahlung und Konvektion, die nur auftreten, wenn die Absorbentemperatur höher ist als die Umgebungstemperatur.

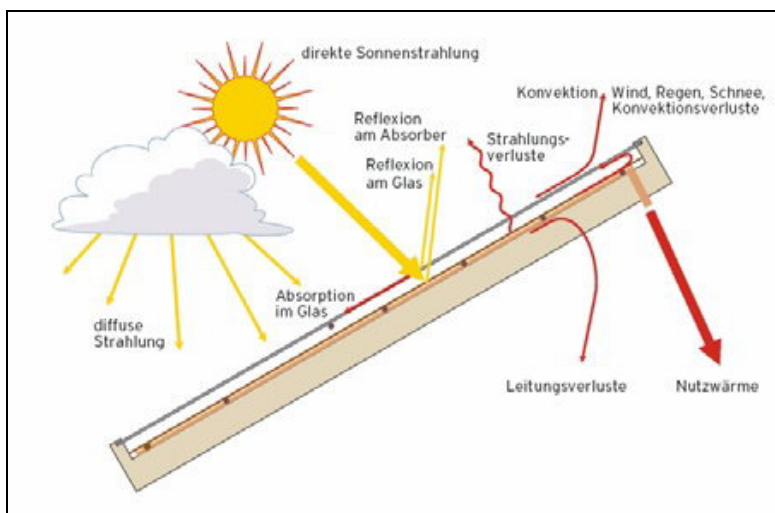


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Energiegewinne und -verluste eines Flachkollektors⁴⁸

Den Kollektorwirkungsgrad kann man aus 3 Parametern, die auch im Datenblatt der Hersteller zu finden sein sollten, berechnen:

$$\eta_K = \eta_0 - a_1 \cdot (\bar{\theta}_{Kol} - \bar{\theta}_a) / G - a_2 \cdot (\bar{\theta}_{Kol} - \bar{\theta}_a)^2 / G \quad [2.1]$$

η_K		Kollektorwirkungsgrad
η_0		Konversionsfaktor, entspricht dem max. Kollektorwirkungsgrad
a_1	W/m ² K	linearer Kollektorwirkungsgradfaktor (auch Wärmedurchgangswert)

⁴⁸ Quelle: Deutsches Kupferinstitut, Link: http://www.kupferinstitut.de/front_frame/pdf/i160.pdf eingesehen am 26.05.2010

a_2	$\text{W/m}^2\text{K}^2$	quadratischer Kollektorwirkungsgradfaktor
$\bar{\theta}_{\text{Kol}}$	$^{\circ}\text{C}$	mittlere Kollektortemperatur
$\bar{\theta}_a$	$^{\circ}\text{C}$	Umgebungstemperatur
G	W/m^2	Globale Bestrahlungsstärke

Die Kollektortemperatur ist dabei, neben anderen Parametern, eine mitentscheidende Größe, um hohe solare Erträge übers Jahr zu erzielen. Umso tiefer die Kollektortemperatur, desto höher ist der Kollektorwirkungsgrad und somit der Solarertrag. Abbildung 16 zeigt beispielhaft den Einfluss des Temperaturniveaus auf den erzielbaren Kollektorwirkungsgrad.

$$\bar{\theta}_{\text{Kol}} = (\bar{\theta}_{\text{ein}} + \bar{\theta}_{\text{aus}}) / 2 \quad [2.2]$$

$\bar{\theta}_{\text{Kol}}$	$^{\circ}\text{C}$	mittlere Kollektortemperatur
$\bar{\theta}_{\text{ein}}$	$^{\circ}\text{C}$	Wärmeträgereintrittstemperatur in den Kollektor
$\bar{\theta}_{\text{aus}}$	$^{\circ}\text{C}$	Wärmeträgeraustrittstemperatur aus dem Kollektor

In Abbildung 16 ist eine Kollektorwirkungsgradkennlinie mit typischen Werten aus Anhang B berechnet. Der Wirkungsgrad eines Kollektors gibt an, welcher Anteil, der auf die Aperturfläche oder eine andere Bezugsfläche des Kollektors (vgl. weiter unten) treffenden Globalstrahlung, in eine nutzbare Wärmeleistung umgesetzt werden kann.

$$Q_{\text{Kol}} = \eta_K \cdot G \cdot F_a \quad [2.3]$$

Q_{Kol}	W	Nutzwärme des Kollektors
F_a	m^2	Aperturfläche

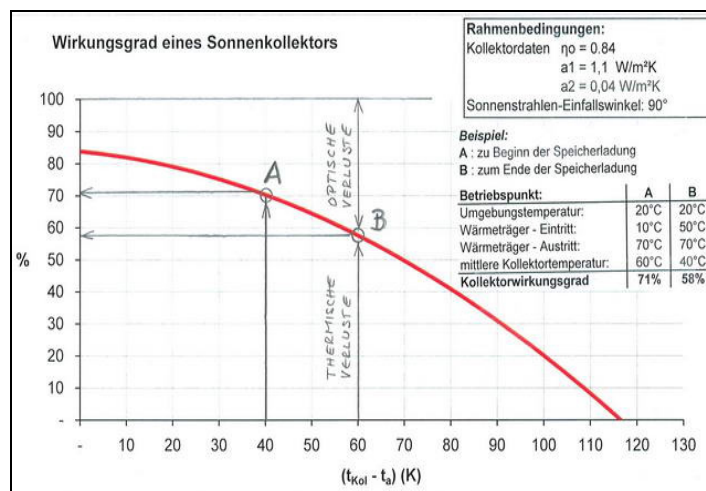


Abbildung 16: Kollektor - Wirkungsgradkennlinie

Beim Vergleich flächenbezogener Größen oder Kennwerte muss stets geprüft werden, ob gleiche Flächen definiert wurden. Zur Kennzeichnung der Geometrie von Flachkollektoren (siehe Abbildung 17) gibt es unterschiedlich definierte Flächen⁴⁹.

In Anhang B ist ein Auszug aus der VDI 6002, Blatt1 wiedergegeben, in welchem Angaben aufgelistet sind, die ein vom Hersteller zu lieferndes Kollektor-Datenblatt enthalten müssen.

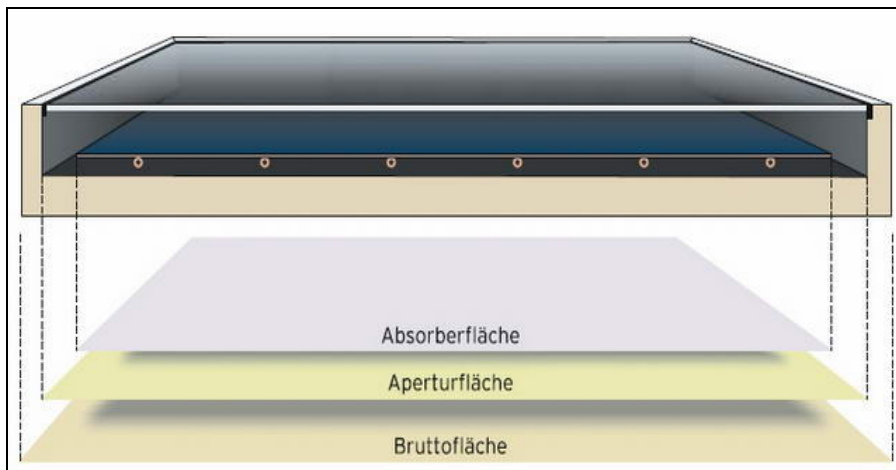


Abbildung 17: Flachkollektor - Flächendefinition⁵⁰

Vakuumpöröhrenkollektoren:

Vakuumpöröhrenkollektoren sind leistungsfähiger als Flachkollektoren, dafür aber auch erheblich teurer. Unterschieden werden die direkt durchströmte Röhre, und die Heat - Pipe-Röhre.

Die Vakuumpöröhre besteht – ähnlich einer Thermoskanne – aus einer doppelwandigen Glasröhre deren Zwischenraum evakuiert ist. Das innere Glasrohr ist auf seiner Außenfläche mit einer hochselektiven Beschichtung versehen. Dies bewirkt eine sehr gute Wärmedämmung, so dass auch Arbeitstemperaturen im Prozesswärmebereich möglich werden.

Bei der direkt durchströmten Röhre wird die Wärme über Wärmeleitbleche an das mit Wärmeträgerflüssigkeit durchströmte Rohr (Kupfer oder Edelstahl) übertragen. In Abbildung 18 ist eine Vakuumpöröhre dargestellt:

⁴⁹ Vgl. VDI 6002 Blatt 1, Sept. 2004, S. 16

⁵⁰ Quelle: Graf, Michael; FH-Burgenland GmbH, Schulungsmodul 2006
http://www.vogelundnoot.com/downloads/Skript_Graf_Teil1.pdf

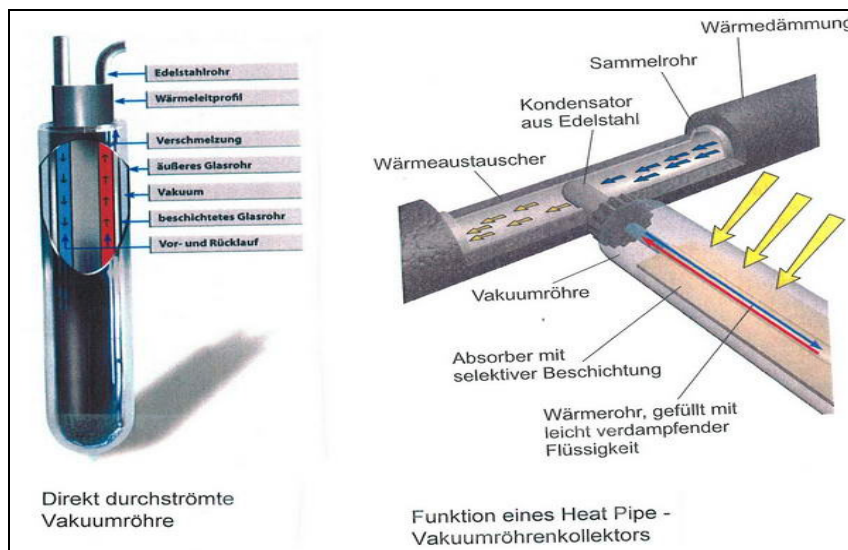


Abbildung 18: Vakuumröhrenkollektoren

Bei der Heat-Pipe (Abbildung 18) ist das Röhrchen auf der Unterseite des Absorbers mit Wasser, bei Unterdruck gegenüber der Umgebung, gefüllt und in sich geschlossen. Bedingt durch den Unterdruck verdampft das Wasser bei ausreichender Sonneneinstrahlung schon bei geringen Temperaturen. Der so entstandene Dampf steigt nach oben, wo die Wärme über einen Kondensator an den Kollektorkreis abgegeben wird. Dabei wird der Dampf verflüssigt, fließt zurück nach unten in den Solarabsorber und der Kreislauf kann wieder von vorne beginnen. Voraussetzung für diesen Prozess ist eine Mindestneigung der Röhren von 20 Grad.⁵¹

2.4.3.2 Solarspeicher

Solarspeicher haben die Aufgabe, den zeitlichen Unterschied zwischen dem Angebot an Solarenergie und dem Energiebedarf des Verbrauchers auszugleichen.

Sie sollten immer stehend montiert werden und eine schlanke, zylindrische Bauform haben, um eine optimale Temperaturschichtung zu erhalten. Solaranlagen erfordern in aller Regel größere Speichervolumina als konventionelle Systeme. Zudem treten in Solaranlagen häufig Wassertemperaturen im Bereich von 30 °C bis 50 °C auf, wodurch sich vermehrt Keime im Wasser bilden können.⁵² Es sind geeignete Maßnahmen zu treffen um ein vermehrtes Keimwachstum im Trinkwasser zu verhindern (z.B. einmal täglich auf mindestens 60 °C aufheizen).

⁵¹ Vgl. Feurich, Hugo: a.a.O., S. 7- 84

⁵² Vgl. VDI 6002 Blatt 1, Sept. 2004, S. 37

Die Auslegung vom Solarspeicher hängt ab:

- von der Größe des Kollektorfeldes
- vom Energiebedarf und dem zeitlichen Verlauf des Bedarfs.

Bei Kleinanlagen haben sich folgende Größen für bivalente Solarspeicher bewährt⁵³:

- Anlagen mit 4 bis 6m² Kollektorfläche: ca. 300 Liter
- Anlagen mit 6 bis 10m² Kollektorfläche: ca. 500 Liter

Das entspricht ca. dem 1,5- bis 2-fachem täglichen Warmwasserbedarf.

Als Material kommen für die Trinkwasserspeicherung emaillierte Stahlspeicher zum Einsatz. Diese benötigen als Korrosionsschutz immer eine Magnesium- oder Fremdstromanode. Edelstahlspeicher sind teurer, verfügen jedoch über eine längere Lebensdauer. Für Pufferspeicher ist keine Emaillierung oder sonstige Vergütung der Innenoberfläche erforderlich, da sie nicht Trinkwasser, sondern Heizungswasser speichern. Die Speicher sollten auf ihrer ganzen Oberfläche eine sehr gute Wärmedämmung erhalten, um die Wärmeverluste gering zu halten.

2.4.3.3 Rohrleitungssystem und Zubehör

Das Kollektorfeld ist mit dem Wärmetauscher im Solarspeicher durch Rohrleitungen verbunden. Man spricht von Vor- und Rücklauf. Der Vorlauf transportiert den erwärmten Wärmeträger vom Kollektor zum Solarspeicher. Er ist bei Betrieb der Anlage wärmer als der Rücklauf, der den abgekühlten Wärmeträger wieder zum Kollektor transportiert.⁵⁴

Eine sogenannte Solarstation besteht aus: Umwälzpumpe, Sicherheitseinrichtungen und einigen Armaturen, die im Vor- und Rücklauf eingebaut sind. Am Markt sind vormontierte, wärmegeämmte sowie kompakte Solarstationen für unterschiedliche Anlagenkonzeptionen und -größen erhältlich.

Für die Wärmemengenzählung ist der Einbau eines Volumenstromzählers im Rücklauf sowie je eines Temperaturfühlers im Vor- und Rücklauf unmittelbar beim Solarwärmetauscher erforderlich.

Auch für die Rohrleitungen sind vorkonfektionierte Rohrsysteme aus Kupfer oder Edelstahl mit einem hochtemperatur- und UV- beständigen Isoliermantel am Markt erhältlich. Dadurch kann die Montagezeit erheblich reduziert werden.

⁵³ Vgl. VDI 6002 Blatt 1, S. 40

⁵⁴ Vgl. Feurich, Hugo: a.a.O., S. 7- 85

2.4.3.4 Steuerung

Den selbständigen Betrieb der Solaranlage übernimmt der Solarregler. Im einfachsten Fall ist das eine Temperaturdifferenzsteuerung. Sie besteht aus zwei Temperaturfühlern und dem Steuergerät. Ein Fühler misst die Temperatur im Kollektor (Wärmeträger-Austritt), während der zweite Fühler die Wassertemperatur des Speichers im Bereich des Solarwärmetauschers⁵⁵ misst. Mit den meisten am Markt erhältlichen Solarreglern kann auch eine Wärmemengenberechnung und -aufzeichnung (gespeicherte Monats oder Jahreswerte) kostengünstig durchgeführt werden.

⁵⁵ Vgl. Feurich, Hugo: a.a.O., S. 7- 87

3. Gesetzliche und finanzielle Rahmenbedingungen

3.1 Finanzierung

Mit der Finanzierung verbunden, sind folgende grundlegenden Fragestellungen⁵⁶:

- Wie groß ist der Finanzierungsbedarf ?
- Welche Finanzierungsarten bieten sich an ?
- Wie sieht die optimale – insbesondere kostenminimale – Finanzierung aus ?

Mit der gewählten Finanzierungsart wird, über den Kalkulationszinssatz, die Wirtschaftlichkeit des Investitionsvorhabens beeinflusst. Nachfolgend sind zwei Finanzierungsarten angeführt, wobei auch eine Mischform denkbar wäre.

Eigenfinanzierung:

Vorausgesetzt es stehen ausreichend liquide Mittel zur Verfügung, stellt die Eigenfinanzierung die ertragreichste Variante dar.

Fremdfinanzierung:

Sollen Liquiditätsengpässe verhindert werden, ist eine mittel – bis langfristige Kreditfinanzierung zu überlegen. Es gibt Banken welche spezielle Solardarlehen anbieten. Diese gelten wegen ihrer günstigen Zinsen und der hohen Flexibilität⁵⁷ als besonders verbraucherfreundlich. Um den optimalen Darlehensgeber zu finden, sollten mehrere Finanzierungsangebote eingeholt und miteinander verglichen werden.

3.2 Investitionsförderung

Mit der Förderung von Solaranlagen sollen geeignete Anreize geschaffen und die wirtschaftliche Attraktivität verbessert werden.

Das in der EU-Richtlinie festgelegte nationale Ziel, den Anteil an erneuerbarer Energie auf 34 % bis 2020 zu erhöhen (vgl. auch Kapitel 1.1.) ist nur dann realisierbar, wenn in den Leitlinien für staatliche Beihilfen für den Umweltschutz die weitere Notwendigkeit von nationalen Fördermaßnahmen für die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen anerkannt wird.⁵⁸

⁵⁶ Vgl. Olfert, Klaus; Reichl, Christopher: Investition, 11. Auflage, Hrsg. K. Olfert, Neckargemünd 2009, Seite 33

⁵⁷ Unter Flexibilität ist gemeint, dass es dem Darlehensnehmer häufig gestattet ist, das Darlehen schon vor dem Ende der Laufzeit vollständig zurückzuzahlen oder zumindest hohe Sondertilgungen zu leisten.

⁵⁸ Vgl. Amtsblatt der Europäischen Union, Richtlinien, L140/16 vom 5.6.2009

Die Förderbestimmungen für thermische Solaranlagen sind in Österreich derzeit kompliziert und unterscheiden sich nach drei Einsatzbereichen:

1. für den privaten Bereich (Ein – Zweifamilien - und Reihenhäuser)
2. für den Geschoßwohnbau
3. für den gewerblich-industriellen Bereich.

Förderungen haben vorwiegend die Form von nicht rückzahlbaren Einmal - Zuschüssen, zum Teil aber auch die Form von Zuschüssen zu Annuitäten von Krediten oder noch andere Formen.⁵⁹

In Österreich hat jedes Bundesland andere Förderbestimmungen und auch die Förderkonditionen der Gemeinden sind nicht einheitlich.

Nachfolgend sind die Förderungen einer thermischen Solaranlage für die Trinkwarmwasserbereitung in einem Einfamilienhaus für den Standort Graz wiedergegeben.

Bundesförderung⁶⁰:

Der Einbau einer Solaranlage ist von der Einkommenssteuer als Sonderausgabe absetzbar und kann im Wege der Einkommenssteuererklärung (ArbeitnehmerInnenveranlagung für LohnsteuerzahlerInnen) beantragt werden.

Informationen zu den Sonderausgaben (siehe Anhang C Sonderausgaben) werden nur in dem Jahr berücksichtigt, in dem sie bezahlt wurden. Bei der Finanzierung über ein Darlehen werden die jeweiligen Rückzahlungsbeträge (Tilgungsraten inklusive Zinsen) von der Einkommenssteuer als Sonderausgaben abgesetzt.

Bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen, z.B. in Fachpublikationen, Firmenbroschüren etc., werden meist ca. € 300,- Steuerersparnis angesetzt.⁶¹

Landesförderung⁶²:

Das Land Steiermark gewährt für sein Gebiet als Maßnahme zur Förderung erneuerbarer Energieträger, der Verringerung von Emissionen und der Schonung von Ressourcen einmalige, nicht rückzahlbare Zuschüsse.

Für Informationen über die Förderungsvoraussetzungen, die Art und das Ausmaß der Förderungen etc. siehe Anhang D.

⁵⁹ Vgl. Krames, Udalfried: Abenteuer Förderdschungel, in: gebäude installation, 06/2009, Seite 28f

⁶⁰ Bundesministerium für Finanzen: Das Steuerbuch 2009 – Tipps für die ArbeitnehmerInnenveranlagung 2008 für LohnsteuerzahlerInnen:
[www.bmf.gv.at/Publikationen/Downloads/BroschurenundRatgeber/STB_09_D_WEB\(2\).pdf](http://www.bmf.gv.at/Publikationen/Downloads/BroschurenundRatgeber/STB_09_D_WEB(2).pdf) eingesehen am 22.05.2010

⁶¹ Vgl. Berechnungsbeispiel, <http://www.solarwaerme.at/EFH/geld-sparen> eingesehen am 22.05.2010

⁶² LandesEnergieVerein Steiermark: Richtlinie für die Direktförderung von thermischen Solaranlagen für die Brauchwassererwärmung und Raumwärmeversorgung durch das Land Steiermark, 2010:
http://www.leva.at/download/Richtlinien2010/RL_therm_Solaranlagen_2010.pdf eingesehen am 22.05.2010

Für Sonnenkollektoren (thermische Solaranlagen) beträgt der Zuschuss⁶³:

- 300,- € Sockelbetrag (bei Neuinstallation)
- 50,- € /m² zurechenbarer Apertur- / Absorberfläche (ab 5 m²)
- Obergrenze: max. 2.000,- € / Einheit (z.B. Einfamilienhaus)
- 50,- € zusätzliche Förderung bei Tausch oder Einbau einer Umwälzpumpe der Effizienzklasse A

Besonderheit: Die Landesförderung ist an die Gemeindeförderung gebunden (siehe Anhang B.2. §4 Abs.1 lit.h)

Bei Neubau eines Eigenheimes, mit einer Baubewilligung ab 1.10.2006, ist der Einbau einer thermischen Solaranlage für die Trinkwarmwasserbereitung verpflichtend um eine Wohnbauförderung in Anspruch nehmen zu können. Wohnbauförderung und Direktförderung können kumuliert werden.

Förderung der Stadt Graz⁶⁴:

Die Stadt Graz gewährt Zuschüsse für Solaranlagen nur wenn keine Verpflichtung zur Errichtung der Solaranlage auf Grund des Steiermärkischen Wohnbauförderungsgesetzes besteht.

Für Informationen über die Förderungsvoraussetzungen und die Höhe der Förderung siehe Anhang E.

Der Direktzuschuss beträgt:

- 100,- € / m² installierter Nettokollektorfläche
- Obergrenze: max. 3.000,- € / Wohneinheit

Kritik an den Fördermaßnahmen:

Bundesförderung:

Aus Anhang C. ist ersichtlich, dass es sich bei den Sonderausgaben um sog. Topf-Sonderausgaben handelt, welche nur in Rahmen des gemeinsamen Höchstbetrages abzugsfähig sind. Die Höchstgrenze hängt ab vom Familienstand mit oder ohne Partner, mit oder ohne Kind(er). Jungfamilien, welche mit den Darlehensrückzahlungen für Wohnraumschaffung den Höchstbetrag meist schon ausschöpfen, werden kaum noch in den Genuss der Steuerersparnis kommen.

⁶³ Vgl. ebenda, §5 Abs. 2, 3, 5, 7 und 8

⁶⁴ Stadt Graz Umweltamt: Merkblatt Solarförderung Graz
<http://www.oekostadt.graz.at/cms/beitrag/10023431/1598275/> eingesehen am 22.05.2010

Landes- und Gemeindeförderung:

Grundsätzlich ist es nicht verständlich, dass für ein und dieselbe Solaranlage, je nach Standort und sonstigen Umständen, verschieden hohe Zuschüsse gezahlt werden.

Zu Anhang D: Förderungsvoraussetzungen §4 Abs. 1

zu lit. e): es ist ein Mindestertrag von 350 kWh/m²a rechnerisch nachzuweisen. Es fehlt jedoch jeglicher Hinweis mit welchen Berechnungsparametern und unter welchem Referenznutzen die Berechnung durchzuführen ist. Auf welche Fläche (Absorber-, Apertur- oder Bruttokollektorfläche) ist der Mindestertrag zu beziehen?

zu lit. f): ein Wärmemengenzähler vor dem Speicher ist zu installieren. Es stellen sich Fragen wie: Wer kontrolliert den richtigen Einbau? Wer kontrolliert, ob die richtigen Fühler für die Wärmemengenberechnung verwendet werden? Wer führt die Zählerablesung durch? Wer wertet die Zählerstände aus? Wer bezahlt die Kosten für Überprüfung und Auswertung?

Zu Anhang D: Art und Ausmaß der Förderung §5 Abs. 2

Röhrenkollektoren haben gegenüber Flachkollektoren unter gleichen Bedingungen einen höheren Kollektorertrag, bekommen aber pro Quadratmeter den gleichen Förderbetrag. Die Förderpolitik forciert also den Fehler, Kollektoren nicht nach der Leistung, sondern nach der Fläche zu fördern und muss deshalb auch als ein teurer, innovationsfeindlicher Irrtum bezeichnet werden⁶⁵.

Zu Anhang E.: Die Höhe der Förderung hängt von der installierten Nettokollektorfläche ab. Der Begriff Nettokollektorfläche wird jedoch nicht definiert. Handelt es sich um Apertur- oder Absorberfläche?

Steirische Solarumfrage 2007:

Vom LandesEnergieVerein Steiermark (LEV) wurden insgesamt 5.552 Fragebögen an Besitzer von Solaranlagen ausgesandt und 3.264 beantwortet. Die wichtige Frage über Förderhöhe und -abwicklung brachte folgendes Ergebnis:

Die Höhe des Zuschusses fanden etwa die Hälfte der TeilnehmerInnen passend, die andere Hälfte befand die Förderung zu niedrig. Die Förderabwicklung war für zwei Drittel der TeilnehmerInnen unkompliziert. Nur 14,2% fanden die Abwicklung kompliziert. Ein Viertel der TeilnehmerInnen fand aber die Förderabwicklung zu langsam. Für 18,4% hingegen war die Abwicklung schnell genug.⁶⁶

⁶⁵ Vgl. Albrecht, Stefan; Griebhaber, Wilfried; Kettner Christiane; Meißner, Rolf:
Wo sich Spreu und Weizen trennen – Über den Wert von Solarwärme (Teil 3), in:
SANITÄR+HEIZUNGSTECHNIK, 8/2008, Seite 46 - 49

⁶⁶ Ulz, Gerhard, Die Geschichte der Sonnenenergie in der Steiermark, in: erneuerbare energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, 01/2008, auch unter
<http://www.aee.at/index.htm?publikationen/zeitung/verzeichnis.php> eingesehen am 30.05.2010

3.3 Preisentwicklung

In Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind bei dynamischen Investitionsrechenverfahren Preisänderungen (z.B. für Energie, Personal, Material, Instandhaltung usw.) zu berücksichtigen. Die Schätzung des Preisänderungssatzes ist vor allem bei längeren Betrachtungszeiträumen besonders sorgfältig vorzunehmen. Dieser sollte auch nicht zu hoch angesetzt werden, da wegen des exponentiellen Verlaufes der Zahlungen dann am Ende des Betrachtungszeitraumes unrealistisch hohe Beträge herauskommen können. Langjährige Erfahrungen der Preisentwicklung in der Vergangenheit können auch nicht ohne weiteres auf die Zukunft übertragen werden⁶⁷. Werden keine Änderungsraten vorgegeben, können die langjährigen statistischen Preisindizes der Statistik Austria verwendet werden.

Elektrische Energie:

Die Entwicklung des Strompreises für Haushaltskunden ist in Abbildung 10 dargestellt. Alle nachfolgend angeführten Strompreise beinhalten: Netz-, Energie- und Messpreis sowie Steuern, Abgaben und die Umsatzsteuer.

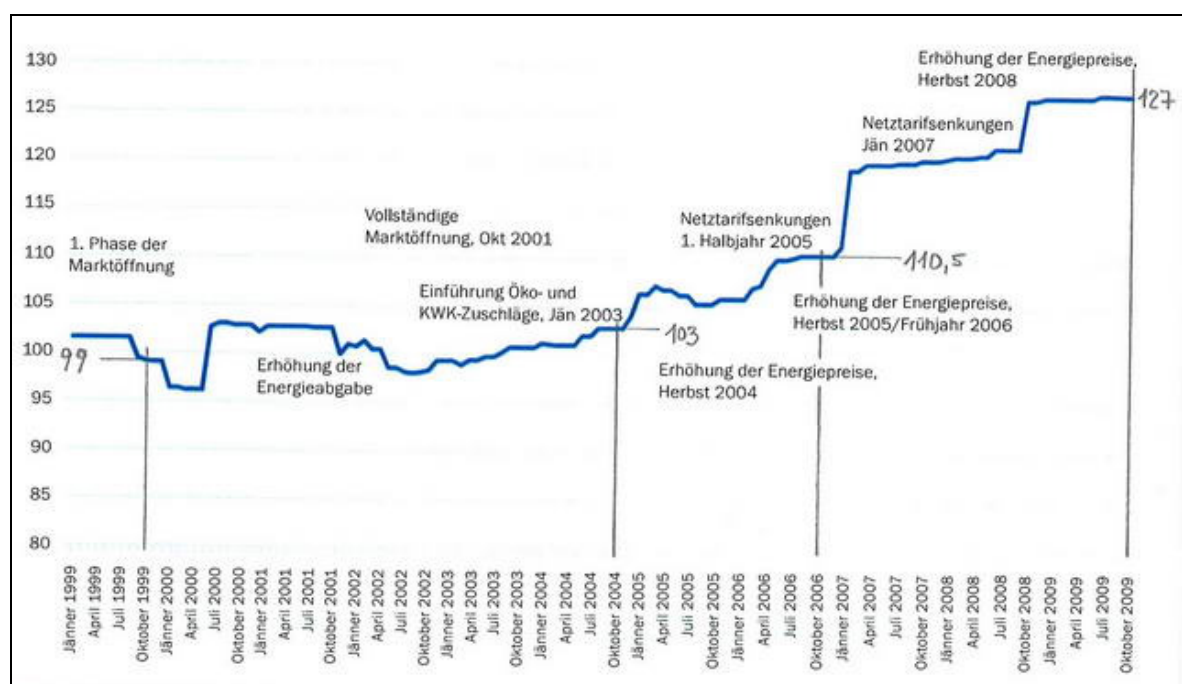


Abbildung 19: Entwicklung des Strompreises für Haushaltskunden⁶⁸

⁶⁷ Vgl. VDI 6025, 11/1996, Pkt. 2.6.

⁶⁸ Quelle: Statistik Austria, E-Control

In Abhängigkeit vom Betrachtungszeitraum errechnen sich folgende durchschnittliche Preissteigerungsraten:

- Betrachtungszeitraum 3 Jahre vom Okt. 2006 – Okt. 2009: ca. 5,0 %/a
- Betrachtungszeitraum 5 Jahre vom Okt. 2004 – Okt. 2009: ca. 4,7 %/a
- Betrachtungszeitraum 10 Jahre vom Okt. 1999 – Okt. 2009: ca. 2,8 %/a

Mit 1. Mai 2010 wurden die Energiepreise um 12,9 % erhöht.

In Abbildung 11 ist der Strompreis für Haushaltskunden, erhoben für den Zeitraum Mai 2010, für verschiedene lokale Stromlieferanten und für einen Jahresverbrauch von 3.500 kWh dargestellt.

Der Strompreis beträgt je nach Netzgebiet zwischen 16,4 und 20,1 Cent/kWh (Stand Mai 2010)⁶⁹. Der durchschnittliche Strompreis, welcher auch in nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen angesetzt wird, beträgt 18,3 Cent/kWh.

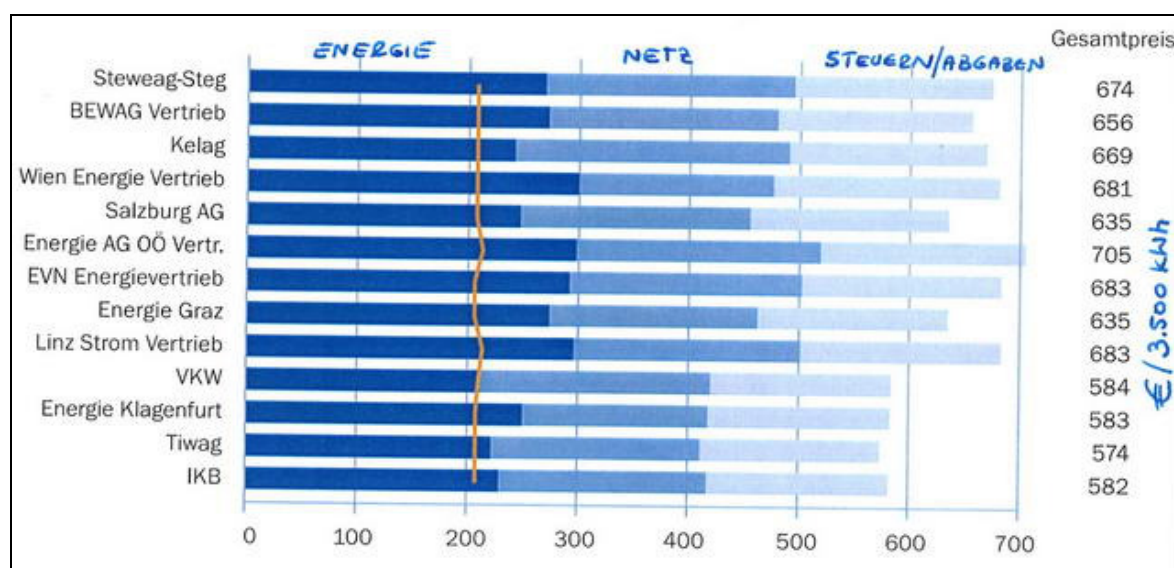


Abbildung 20: Preis für Haushaltsstrom in €/Jahr, für einen Jahresverbrauch von 3.500 kWh⁷⁰

Anlagen-Bauteile und Instandhaltung:

Richtwerte für Preissteigerungsraten von Anlagenteilen werden aus der ÖNORM M 7140 Beiblatt 5 entnommen. Der empfohlene Richtwert der Preissteigerungsrate beträgt für alle Anlagenkomponenten einheitlich 3 %/a.

⁶⁹ E-Control, Strompreise in Österreich, http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/strom/dokumente/pdfs/preismonitor_mai_NEU.pdf

⁷⁰ Quelle: E-Control

3.4 Umsatzsteuer⁷¹

Im privaten Bereich (Endverbraucher) empfiehlt es sich die Berechnungen unter Berücksichtigung der Mehrwertsteuer durchzuführen. Deshalb erfolgen in dieser Arbeit sämtliche Berechnungen der Kosten (Ein- und Auszahlungen) mit Einbezug der Mehrwertsteuer. Auch die Angaben in den Tabellen beinhalten die Mehrwertsteuer.

3.5 Versicherung

Damit die Solaranlage in die Haushaltsversicherung aufgenommen wird, ist nach Inbetriebnahme eine Meldung bei der Haushaltsversicherung ratsam (z.B. gegen Glasbruch und indirekten Blitzschlag). Meist werden von den Versicherungen keine Prämien erhöhungen vorgeschrieben.

3.6 Baurecht

Im Steiermärkischen Baugesetz sind Solaranlagen als bewilligungsfreie Vorhaben angeführt⁷²

Unabhängig von der Genehmigungsfreiheit sind jedoch die Anlagen entsprechend dem Steiermärkischen Baugesetz zu errichten und in Betrieb zu nehmen (siehe dazu Anhang B.2. §4 Abs. 1 lit. a.).

Wenn eine Solaranlage das Erscheinungsbild eines Kulturdenkmals beeinträchtigt, ist eine Genehmigung nach dem Denkmalschutzgesetz erforderlich⁷³.

Wenn der Bebauungsplan eine Firstrichtung in Nord – Süd – Richtung vorschreibt, können Bauherren mit dem Verweis auf eine geplante Solaranlage einen Antrag auf Abweichung vom Bebauungsplan stellen.⁷⁴

⁷¹ Betriebswirtschaftlich gesehen handelt es sich um eine Mehrwertsteuer, juristisch spricht man von der Umsatzsteuer, da sie rechtlich an einen Akt des Rechtsverkehrs, den Umsatz, angeknüpft wird; beide Ausdrücke können synonym verwendet werden; aus: Hollidt, Andreas; Piel, Andreas H.: Rechnungswesen – Band 1, 3. Auflage, Berlin 2008, Seite 60f

⁷² Steiermärkisches Baugesetz §21 Abs. 2 lit. i, Link: http://www.bauordnung.at/oesterreich/steiermark_baugesetz.php eingesehen am 25.5.2010

⁷³ Bundesdenkmalamt §5 und §7, Link: <http://www.bda.at/downloads/805/> eingesehen am 25.5.2010

⁷⁴ Baupolitische Leitsätze des Landes Steiermark 2009, Link: <http://www.biomasseverband.at/static/mediendatenbank/root01/7.%20Publikationen/34%20Prozent%20EE.pdf> eingesehen am 25.5.2010

4. Grundlagen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

4.1 Betriebswirtschaftliche Grundlagen

4.1.1 Grundlagen der Investitionsrechnung

4.1.1.1 Investitionsart

Im Gegensatz zu einem konventionellen Energieversorgungssystem, welches weitgehende Versorgungssicherheit gewährleisten muss, wird diese Anforderung an ein Solarsystem nicht gestellt. Die Energieversorgung in unseren Breiten ist immer auf ein konventionelles Nachheizsystem angewiesen.

Das bedeutet für die vorliegende Arbeit, dass die Investition in eine elektrisch beheizte Trinkwassererwärmung, unabhängig von der Investition in eine Solaranlage, immer erforderlich ist ("Sowieso"-Kosten).

In der Investitionsrechnung wird das Investitionsvorhaben als **Einzelinvestition** behandelt. Ob eine Investition vorteilhaft ist, entscheidet sich demzufolge über die Energieeinsparung durch die Nutzung der Sonnenenergie (Kosteneinsparinvestition).

4.1.1.2 Zahlungsart

Bei der Ermittlung der Zahlungen sind vier Zahlungsgruppen zu unterscheiden:

- Kapitalgebundene Zahlungen, einschließlich Instandsetzung und Erneuerung
- Verbrauchsgebundene Zahlungen
- Betriebsgebundene Zahlungen
- Sonstige Zahlungen, wie Versicherung und Steuern, die jedoch bei der Errichtung einer Solaranlage nicht zutreffen.

Alle Zahlungen werden auf einen Zeitraum von einem Jahr (zwölf Monate) bezogen.

Kapitalgebundene Zahlungen

Für die Berechnung der kapitalgebundenen Zahlungen sind die Investitionsbeträge der Solaranlage zu ermitteln. Dazu wurden Angebote verschiedener regionaler Installationsunternehmen eingeholt (siehe Kapitel 6.1).

Die Instandsetzungszahlungen werden als prozentualer Anteil der Investitionsbeträge der einzelnen Anlagenkomponenten ermittelt.

Werden bei der Errichtung von Solaranlagen nicht-rückzahlbare Fördergelder verwendet, sind diese von den Investitionskosten abzuziehen. Das Gleiche gilt auch für die Kosten der konventionellen Bauteile, die durch den Einbau der Solaranlage eingespart wurden.

Verbrauchsgebundene Zahlungen

Die verbrauchsgebundenen Zahlungen umfassen die Zahlungen für das Nachheizen des Trinkwarmwassers und die Zahlungen für Hilfsenergie (elektr. Energie für Pumpe und der Regel- und Steuerungsanlage) sowie Zahlungen für sonstige Betriebsstoffe (wie z.B. Frostschutzmittel, Salz für die Enthärtungsanlage, etc.).

Betriebsgebundene Zahlungen

Die betriebsgebundenen Zahlungen bestehen aus den Teilzahlungen wie Bedienung, Wartung, Inspektion und Kundendienst.

Diese Zahlungen werden in der Fachliteratur meist als prozentualer Anteil der Investitionsbeträge der einzelnen Anlagenkomponenten angegeben.

4.1.1.3 Preisänderung

Für große Betrachtungszeiträume sind Preisänderungen zu berücksichtigen. Das geschieht in zweckmäßiger Weise durch Annahme eines Preisänderungssatzes (j). Dieser Preisänderungssatz gibt an, um wie viel Prozent die Zahlung der Folgeperiode höher oder niedriger ist als die Zahlung in der Periode davor.

Daraus ergibt sich, dass die Zahlungen exponentiell verlaufen. Wegen des angenommenen exponentiellen Verlaufs der Zahlungen ist, vor allem bei längeren Betrachtungszeiträumen, die Schätzung des Preisänderungssatzes (j) besonders sorgfältig vorzunehmen.⁷⁵

In den nachfolgenden Berechnungen wird, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, mit folgenden jährlichen Preisänderungssätzen (Preissteigerungsraten) gerechnet:

- für Anlagenteile: 3 %/a (gem. ÖNORM M 7140, Nov. 2004, Bl.5, Tab.1)
- für elektr. Energie: 3 %/a (Annahme, vgl. Kapitel 3.3)

4.1.1.4 Kalkulationszinssatz

Eine sehr wichtige Grundlage für die Investitionsrechnung ist der Kalkulationszinssatz. Die Aufgabe des Kalkulationszinssatzes ist, die zu unterschiedlichen Zeiten anfallenden Geldflüsse eines Investitionsvorhabens vergleichbar zu machen. Vor der Durchführung der Investitionsrechnung ist der Zinssatz festzulegen, welcher mindestens vom Investitionsobjekt gefordert wird. "Mit dieser subjektiven Mindestverzinsungsanforderung wird das Vorhaben dann durchgerechnet (kalkuliert)."⁷⁶

⁷⁵ Vgl. VDI 6025, Nov. 1996, S. 10

⁷⁶ Däumler, Klaus-Dieter; Grabe, Jürgen: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, 12. Auflage, Verlag NWB 2007, S. 34

Dieser verwendete Zinssatz heißt Kalkulationszinssatz und wird auch als Kalkulationszinsfuß, Kapitalisierungszinsfuß oder Kapitalzinssatz bezeichnet (engl.: discount rate).

Bei der Festlegung des Kalkulationszinssatzes sind die Finanzierungsverhältnisse und die erwarteten Risiken zu beachten. "Soll eine Investition vollständig eigenfinanziert werden, so steht dem Investor als Alternative zur Durchführung der Investition, die Anlage seiner Mittel am Kapitalmarkt offen."⁷⁷ Da der Investor auf den Effektivzinssatz⁷⁸ der nicht gewählten Alternative verzichtet, muss er diesen mindestens vor der durchzuführenden Investition verlangen, wenn er wirtschaftlich nicht benachteiligt sein will (Opportunitätsüberlegung). Daher kann sein subjektiver Mindestzins nicht kleiner sein als der Habenzins einer bestimmten Kapitalmarktanlage plus einem Risikozuschlag für das Investitionsvorhaben.⁷⁹

Es gilt somit: $i_e = \text{Habenzins} + z$

i_e = Kalkulationszinssatz bei Eigenfinanzierung

z = Risikozuschlag

Soll eine Investition vollständig fremdfinanziert werden, so orientiert ein Investor seine Mindestverzinsungsanforderung am Fremdkapitalzinssatz. Der Kalkulationszinssatz kann dann nicht kleiner sein als der Kreditzinssatz plus einem Risikozuschlag für das Investitionsvorhaben.⁸⁰

Es gilt somit: $i_f = \text{Sollzinssatz} + z$

i_f = Kalkulationszinssatz bei Fremdfinanzierung

z = Risikozuschlag

Soll eine Investition eigen- und fremdfinanziert werden, entspricht der Kalkulationszinssatz dem Mischzinssatz, welcher sich als gewichtetes Mittel der zuvor beschriebenen Zinssätze ergibt, plus einem Risikozuschlag. Die Mischfinanzierung besteht insbesondere bei größeren Investitionsvorhaben.

Für das private Investitionsvorhaben der solaren Trinkwassererwärmung kann der Risikozuschlag als vernachlässigbar gering eingestuft werden. Die Finanzierungskosten bewegen sich unter 10.000 € (siehe Kapitel 6.1).

Steuerliche Einflüsse bei der Festlegung des Kalkulationszinssatzes, wie z.B. bei der betrieblichen Finanzierung in Form der Abzugsfähigkeit der Fremdkapitalzinsen, werden bei der privaten Finanzierung, z.B. einer Solaranlage, nicht berücksichtigt.

⁷⁷ Däumler, Klaus-Dieter; Grabe, Jürgen: a.a.O., S. 35

⁷⁸ Definition: bezeichnet die effektiven (= tatsächlichen) jährlichen Kosten eines Kredits für den Kreditnehmer. Der Effektivzinssatz muss für Darlehen mit einer Festzinsvereinbarung für die gesamte Laufzeit fest angegeben bzw. ausgewiesen sein.

⁷⁹ Vgl. Däumler, Klaus-Dieter; Grabe, Jürgen: a.a.O., S. 35

⁸⁰ Vgl. ebenda, S. 36

Ebenso beinhaltet der Kalkulationszinssatz keine Inflationskomponenten (als Teil des risikofreien Basiszinses). Preisänderungen werden im Kapitel 4.1.1.3. gesondert betrachtet. Für den privaten Investor spielen Liquidität, sowie seine individuellen Finanzierungsverhältnisse (Veranlagungs- und Kreditformen) eine große Rolle. Es gibt keine einheitliche Richtschnur für die Festlegung des Kalkulationszinssatzes.

Die Unsicherheit des subjektiv festgelegten Kalkulationszinssatzes wird bei den Sensitivitätsanalysen (siehe Kapitel 4.1.4 / 7.1.6) insofern berücksichtigt, dass man für den Zinssatz eine bestimmte Bandbreite für möglich hält. Die Investitionsrechnung wird dann mit verschiedenen Kalkulationszinssätzen innerhalb der Bandbreite durchgeführt und hiermit dem Investor ein Überblick gegeben, wie stark sich die vorhandene Unsicherheit auf das Ergebnis seines Investitionsvorhabens auswirkt.

Der Kalkulationszinssatz wird in den nachfolgenden Investitionsrechnungen mit einem konstanten Wert (zinsstatisch) in der Buchungsperiode und unabhängig von der Finanzierungsart mit 4,0 % angesetzt.

Es gilt somit: $i_e = i_f = i = 4,0 \%$

i = Kalkulationszinssatz

4.1.1.5 Nutzungsdauer

Die rechnerische Nutzungsdauer stellt einen Erfahrungswert dar. Die Nutzungsdauer beginnt mit der erstmaligen Inbetriebnahme der Anlage und endet, wenn die Reparatur und Instandsetzung sowie die Kosten für die Erneuerung einzelner Anlagenteile in keinem vertretbaren Verhältnis mehr zu einer Neuanschaffung stehen.⁸¹

Die Nutzungsdauer der Anlagenkomponenten ist aus der VDI-Richtlinie⁸² entnommen und in Tabelle 12 zusammengestellt.

Die wirtschaftliche Nutzungsdauer einer Solaranlage ist der Betrachtungszeitraum, welcher aus Sicht des Investors vorab oder langfristig erforderlich ist, um

- eine Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zu geben
- die Erhaltung der Anlage zu planen und
- den Gesamtwert der Anlage nachhaltig zu verbessern.

Für die Bestimmung des Betrachtungszeitraumes werden in der Praxis selten Aussagen getroffen. Zu wählen ist gem. VDI-Richtlinie⁸³ als Betrachtungszeitraum die Nutzungsdauer der kürzerlebigen und/oder der kapitalintensiven Anlagenkomponenten.

In den nachfolgenden Berechnungen wurde ein Betrachtungszeitraum von 15 Jahren gewählt.

⁸¹ Vgl. VDI 2067, Blatt 1, S. 3

⁸² VDI 2067, Blatt 1, Tabelle A1

⁸³ VDI 6025, S. 39

4.1.2 Statische Investitionsrechenverfahren

Zur Beurteilung einzelner Investitionsobjekte stehen folgende statische Investitionsrechenverfahren zur Verfügung:

- Kostenvergleichsrechnung
- Gewinnvergleichsrechnung
- Rentabilitätsrechnung
- statische Amortisationsrechnung

Zur Beurteilung von Einzelinvestitionen ohne Alternative (vgl. Kap. 4.1.1.1) eignet sich die Rentabilitäts- und die statische Amortisationsrechnung. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die häufig angewandte statische Amortisationsrechnung (auch Pay-Back-Methode oder Pay-Off-Methode genannt).

Die **statische Amortisationsrechnung** ermittelt die Kapitalrückfluss- bzw. die Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Anschaffungsauszahlung und der jährlichen Einsparung. Durch die Eigennutzung der Solaranlage sind keine realen Einzahlungen zu berücksichtigen. Durch die Investition in eine Solaranlage wird der Strombezug reduziert und damit Auszahlungseinsparungen erzielt. Diese können als fiktive Einzahlungen (Einsparungen) angesetzt werden.

Die Zinsen und die Preisänderungsraten werden dabei vernachlässigt.

Berechnung der Amortisationszeit t_a

$$t_a = \left\lceil \frac{A_0}{\ddot{U}} \right\rceil \quad [4.1.]$$

A_0 Anschaffungsauszahlung (Investitionsbetrag) in €

\ddot{U} jährlicher Überschuss (Einsparung) in €/a

t_a Amortisationszeit in a⁸⁴

Der Vorteil eines einzelnen Investitionsobjektes ist gegeben, wenn die Amortisationszeit kleiner als die vom Investor, stets subjektiv festgesetzte, maximal zulässige Amortisationszeit ist.

$$t_a \leq T_{aZUL} \quad [4.2.]$$

T_{aZUL} max. zulässige Amortisationszeit in Jahren (vom Investor festgesetzt Frist)

⁸⁴ annus, lat.: Jahr (Abk.: a)

4.1.3 Dynamische Investitionsrechenverfahren

Die dynamischen Investitionsrechenverfahren werden in der betrieblichen Praxis häufiger eingesetzt als die statischen Investitionsrechenverfahren, weil sie durch die mehrperiodische Betrachtung und das Einbeziehen der Zinsen, der Preisänderungsraten sowie der Nutzungsdauer höhere Aussagekraft besitzen.

Die dynamischen Methoden sind zahlungsorientiert. Nur Zahlungsströme (Auszahlungen, Einzahlungen) werden in die Rechnung einbezogen.⁸⁵

Wie bei der statischen Amortisationsrechnung sind auch hier durch die Eigennutzung der Solaranlage keine realen Einzahlungen zu berücksichtigen. Durch die Investition in eine Solaranlage wird der Strombezug reduziert und damit Auszahlungseinsparungen erzielt, welche als fiktive Einzahlungen (Einsparungen) angesetzt werden können.

Mit Hilfe finanzmathematischer Methoden werden Zahlungen, die in anderen Perioden liegen, auf die Betrachtungsperiode auf- oder abgezinst, und so vergleichbar gemacht.

Für die Berechnungen wird unterstellt, dass alle laufenden Zahlungen stets am Jahresende anfallen, während die Erstauszahlung (Anschaffungsauszahlung für das Investitionsobjekt) am Anfang des ersten Nutzungsjahres anfällt.

Als Grundlage für die nachfolgenden Berechnungen dienen die Formeln aus der VDI6025.

4.1.3.1 Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode ist ein Verfahren, bei dem der Kapitalwert zu Beginn der Nutzungsdauer von Investitionsobjekten als Maßstab der Vorteilhaftigkeit dient.⁸⁶

Der Kapitalwert wird aus der Summe der Barwerte⁸⁷ aller Einzahlungen abzüglich der Summe der Barwerte aller Auszahlungen ermittelt. Fällt die Anschaffungsauszahlung zu Beginn der Nutzungsdauer (t_0) an, dann ist sie bereits als Barwert gegeben und muss nicht umgerechnet werden.

Der Kapitalwert ergibt sich somit aus dem Barwert der Zahlungsfolge, vermindert um die Anschaffungsauszahlung.

$$C_0 = -A_0 + B \quad [4.3.]$$

C_0 *Kapitalwert in €*

A_0 *Anschaffungsauszahlung (Investitionsbetrag) in €*

B *Barwert in €*

⁸⁵ Vgl. Zingel, Harry: a.a.O., S. 135

⁸⁶ Vgl. Ofert, Klaus: a.a.O., S. 193

⁸⁷ Der Barwert wird auch Gegenwartswert genannt.

$$B = \sum_{t=1}^T \frac{E_t - A_t}{q^t} \quad [4.4.]$$

t laufende Nummer einer Periode

T Betrachtungszeitraum in a (vgl. Kapitel 4.1.1.5)

E_t Einzahlungen am Ende der Periode t in €/a

A_t Auszahlungen am Ende der Periode t in €/a

$$q = 1 + i \quad [4.5.]$$

q Abzinsungsfaktor

i Kalkulationszinssatz in %/a, eingesetzt als Dezimalzahl

Bei preisdynamischen Zahlungsfolgen (welche in der Praxis am häufigsten vorkommen) ist der Preisänderungsfaktor zu berücksichtigen.

$$r = 1 + j \quad [4.6.]$$

r Preisänderungsfaktor

j Preisänderung in %/a, eingesetzt als Dezimalzahl

Für den Barwert der preisdynamischen Zahlungsfolge gilt:

$$B = \sum_{t=1}^T (E_t - A_t) \frac{r^{t-1}}{q^t} \quad [4.7.]$$

Bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung von Solaranlagen wird angenommen, dass die jährlichen Energieerträge, Energiebedarfe sowie Wartung, Betriebsmittel etc. über die gesamte Nutzungsdauer konstant bleiben. Damit kann auch mit gleichbleibenden Zahlungen (jährlichen Überschüssen) über alle Perioden gerechnet werden.

$$\ddot{U} = E_t - A_t \quad [4.8.]$$

\ddot{U} jährlicher Überschuss (Einsparung) in €/a

Formel für den Barwert bei konstanten jährlichen Zahlungen:

$$B = \ddot{U} \cdot \frac{1 - (r/q)^T}{q - r} \quad \text{für } q \neq r \quad [4.9.]$$

$$B = \ddot{U} \cdot \frac{T}{q} \quad \text{für } q = r \quad [4.10.]$$

wobei:

$$b(T, q, r) = \frac{1 - (r/q)^T}{q - r} \quad \text{für } q \neq r \quad [4.11.]$$

und

$$b(T, q, r) = \frac{T}{q} \quad \text{für } q = r \quad [4.12.]$$

als Barwertfaktoren bezeichnet werden

Besteht ein Investitionsobjekt aus mehreren Komponenten mit jeweils unterschiedlicher Nutzungsdauer, so sind die Anschaffungsauszahlungen der einzelnen Komponenten auf einen gemeinsamen Betrachtungszeitraum anzupassen. Liquidationserlöse werden bei den Solaranlagen nicht berücksichtigt.

Der Vorteil eines einzelnen Investitionsobjektes ist gegeben, wenn sein Kapitalwert größer oder gleich Null ist.

$$K \geq 0 \quad [4.13.]$$

4.1.3.2 Annuitätsmethode

Die Annuitätsmethode ist ein Verfahren, bei dem die Annuität von Investitionen als Maßstab der Vorteilhaftigkeit dient.⁸⁸

Die Annuitätsmethode wird aus der Kapitalwertmethode abgeleitet. Beide Investitionsrechnungen unterscheiden sich in der Ermittlung des Erfolges:

- Die Kapitalwertmethode zeigt den Totalerfolg
- Die Annuitätsmethode bezieht sich auf den Periodenerfolg.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit einer Investition liefert die Annuitätsmethode dieselben Ergebnisse wie die Kapitalwertmethode.

Die tatsächlichen Zahlungsströme werden in eine äquivalente (gleiche Barwerte), äquidistante (gleiche Zahlungsabstände) und uniforme (gleiche Zahlungshöhe) Zahlungsreihe transformiert.

$$d = C_0 \frac{q^T (q-1)}{q^T - 1} \quad [4.14.]$$

d Annuität in €/a

C_0 Kapitalwert in €

⁸⁸ Vgl. Olfert, Klaus: a.a.O., S. 214

$$a = \frac{q^T (q-1)}{q^T - 1} \quad [4.15.]$$

a *Annuitätsfaktor (auch Kapitalwiedergewinnungsfaktor, Kapitaldienststrategie genannt)*

Bei preisdynamischen Zahlungsfolgen ist der Preisänderungsfaktor zu berücksichtigen. Der preisdynamische Annuitätsfaktor ba wird nach folgender Formel berechnet:

$$ba = \frac{(q^T - r^T)}{q^T (q-r)} \cdot \frac{q^T (q-1)}{q^T - 1} \quad [4.16.]$$

q *Abzinsungsfaktor*

r *Preisänderungsfaktor*

T *Betrachtungszeitraum in Jahren*

Für längerlebige Anlagenkomponenten über den Betrachtungszeitraum hinaus ist der Restwert zu ermitteln.

Allgemein gilt für den Restwertfaktor R bei linearer Abschreibung mit T_N :

$$R = \frac{T_N - T}{T_N} \cdot q^{-T} = R(q, T, T_N) \quad [4.17.]$$

R *komponentenspezifischer Restwertfaktor zu Beginn des Betrachtungszeitraumes*

T_N *Nutzungsdauer in Jahren*

Der Restwert einer Anlagenkomponente zu Beginn des Betrachtungszeitraumes wird nach folgender Formel berechnet:

$$RW = R \cdot A_0 \quad [4.18.]$$

RW *Restwert einer Anlagenkomponente in € zu Beginn des Betrachtungszeitraumes*

Ein einzelnes Investitionsobjekt ist dann vorteilhaft, wenn seine Annuität größer oder gleich Null ist.

$$d \geq 0 \quad [4.19.]$$

Aus den jährlichen Kosten (Annuität) kann der solare Wärmepreis, das heißt die spezifischen Kosten pro kWh solar erzeugter Wärme, errechnet werden. Dieser solare Wärmepreis kann dann mit dem konventionellen Wärmepreis – im vorliegenden Fall dem Strompreis – verglichen werden.

4.1.3.3 Interne Zinsfußmethode

Die interne Zinsfußmethode ist ein Verfahren, bei dem der interne Zinsfuß als Maßstab der Vorteilhaftigkeit von Investitionen dient. Der interne Zinssatz ist der Zinssatz, der beim Diskontieren⁸⁹ der Einzahlungs- und Auszahlungsseite zu einem Kapitalwert von Null führt. Entsprechend dem preisdynamischen Ansatz gelten für die Zinsfußermittlung folgende Gleichungen:

$$C_{O(i=i_I)} = -A_O + \dot{U} \frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i_I} \right)^T}{i_I - j} = 0 \quad \text{für } i_I \neq j \quad [4.20.]$$

i_I interner Zinsfuß in %/a, in der Formel als Dezimalzahl

Die Ausgangsgleichung [4.20.] lässt sich für $T > 4$ in der Regel nicht nach dem gesuchten internen Zinsfuß i_I auflösen. Aus diesem Grund ist der interne Zinsfuß mit Hilfe des Iterationsverfahrens zu bestimmen.

Die Mängel der internen Zinsfußmethode haben zur Entwicklung der modifiziert-internen Zinsfußmethode geführt⁹⁰, nach welcher die Berechnungen in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden. Diese Methode basiert auf der Annahme, dass sich alle Zahlungsüberschüsse ($E_t - A_t$) zum vorgesehenen Kalkulationsfuß i anlegen oder decken lassen. Zur Ermittlung der gesuchten Verzinsung i_M des eingesetzten Kapitals A_0 bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes errechnet sich nach der Formel:

$$i_M = \sqrt[T]{\frac{E \cdot be + RW_e - A \cdot be}{A_O}} - 1 \quad [4.21.]$$

$$i_M = \sqrt[T]{\frac{K_E}{A_O}} - 1 \quad [4.22.]$$

i_M modifiziert-interner Zinsfuß in %

E Einzahlung in €/a

A Auszahlungen in €/a

be preisdynamischer Endwertfaktor

RW_e Restwert zum Ende des Betrachtungszeitraumes in €

K_E Endwertsumme in €

⁸⁹ abzinsen

⁹⁰ Vgl. VDI 6025, Pkt. 6.2, S. 48

Dabei ist

$$RW_e = A_O \cdot R_{(T, T_N)} \quad [4.23.]$$

A_O Anschaffungsauszahlung der Komponenten mit $T_N > T$

Für den komponentenspezifischen Restwertfaktor $R_{(T, T_N)}$ zum Ende des Betrachtungszeitraumes wird eine lineare Abschreibung angesetzt:

$$R_{(T, T_N)} = 1 - \frac{T}{T_N} \quad [4.24.]$$

Der preisdynamische Endwertfaktor wird nach folgender Formel berechnet:

$$be = \frac{(1+i)^T - (1+j)^T}{(i-j)} \quad [4.25.]$$

Der Vorteil eines einzelnen Investitionsobjektes ist gegeben, wenn sein modifiziert-
interner Zinsfuß i_M mindestens so groß ist wie der Kalkulationszinssatz i .

$$i_M \geq i \quad [4.26.]$$

4.1.3.4 Dynamische Amortisationsrechnung

Die dynamische Amortisationsrechnung wird aus der Kapitalwertmethode abgeleitet. Die dynamische Amortisationszeit einer Investition ist die Zeit, bei der der Kapitalwert gerade gleich Null ist.⁹¹

Eine Investition ist im Sinne des dynamischen Amortisationskriteriums vorteilhaft, wenn ihre tatsächliche dynamische Amortisationszeit nicht größer ist, als die vom Investor vorgegebene maximale wirtschaftliche Nutzungsdauer.⁹²

$$t_{ad} \leq T \quad [4.27.]$$

t_{ad} dynamische Amortisationszeit in Jahren

T wirtschaftliche Nutzungsdauer (Betrachtungszeitraum) in Jahren

Die dynamischen und die statischen Amortisationszeiten stimmen bei einer Verzinsung und Preisänderungsrate von Null oder wenn bei einer preisdynamischen Berechnung die Verzinsung der Preissteigerungsrate entspricht überein.

⁹¹ Vgl. Däumler, Klaus-Dieter; Grabe, Jürgen: a.a.O., S. 225

⁹² Vgl. ebenda, S. 226

4.1.4 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse untersucht, wie stark das Ergebnis einer Investition auf Änderungen von Inputdaten reagiert. Die Daten, auf denen die Investitionsrechnung basiert, sind im Allgemeinen subjektiv festgelegte Werte und daher mit Unsicherheit behaftet.

Die Sensitivitätsanalyse besteht darin, durch Mehrfachrechnungen die Möglichkeit aufzuzeigen, in welchem Umfang Abweichungen von Berechnungsparametern auftreten dürfen, ohne dass dadurch die Entscheidung beeinflusst wird oder dass die Maßnahme gerade noch wirtschaftlich ist. Damit lässt sich eine bessere Risikoabschätzung für eine Investition durchführen.

Wegen des rechnerischen Aufwandes wird die Sensitivitätsanalyse auf die Kapitalwertmethode beschränkt. Auch insofern, dass die drei anderen dynamischen Methoden ebenfalls auf der Kapitalwertmethode basieren.

4.2 Aspekte der energetischen Betrachtung

Kenngroße für die energetische Bewertung von Energieträgern bzw. Energiesystemen ist der Bedarf an Primärenergie, abgeleitet aus dem Brennstoff- / Strom- Einsatz.

Für die Produktion und den Bau einer Solaranlage werden Materialien benötigt, für welche Energie aufzuwenden ist. Der Primärenergieverbrauch für die Produktion eines Sonnenkollektors und der Anlagenkomponenten ist in Kapitel 7.2. dargestellt.

Mit der Materialbilanz einer Solaranlage kann der Primärenergieaufwand für die Herstellung ungefähr berechnet werden. Hiermit kann modellhaft die Zeit berechnet werden, in der die „Energieinvestition“ durch den jährlichen Solarertrag amortisiert wird.

Stromkennzeichnung in Österreich 2005						
Energieträger	Erneuerbare Energie	Fossile Energie	Nuklearenergie	Sonstige Primärenergie	UCTE-Mix	Summe
Jahresanteil in %	%	%	%	%	%	%
Österreichische Stromkennzeichnung	55	29	0	1	15	100
EVN Energievertrieb GmbH & Co KG	46	53	0	1	0	100
VERBUND- Austrian Power Sales GmbH	100	0	0	0	0	100
Energie AG Oberösterreich Vertrieb GmbH & Co KG	70	25	0	0	5	100
KELAG Kärntner Elektrizitäts-AG	55	5	0	1	39	100
BEWAG Energie Vertrieb GmbH & Co KG	100	0	0	0	0	100
Salzburger AG für Energie	80	12	0	0	8	100
STEWEAG AG für Energie	46	22	0	0	32	100
TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG	68	0	0	0	32	100
Vorarlberger Kraftwerke AG	70	30	0	0	0	100
oekostrom Vertriebs GmbH	100	0	0	0	0	100
Europäischer Strommix 2005: 11,56% Wasserkraft, 3,55% sonstige erneuerbare Energieträger, 53,29% fossile Energieträger, 31,29% Nuklearenergie und 0,30% Sonstige						
Quelle: E-Control, ECG-Ökostrombericht 2007						

Abbildung 21: Anteile der Energieträger bei der Stromaufbringung in Österreich

Für die Umrechnung der Endenergie in Primärenergie wurde der Primärenergiefaktor (PE - Faktor) eingeführt. Der PE - Faktor für Strom wird an den Anteilen der Energieträger bei der Stromerzeugung abgeleitet. Für Österreich beträgt der PE - Faktor für elektrischen Strom gemäß Stromkennzeichnung 2005 (siehe Abb. 21):

$$\text{PE-Faktor} = 1,12 \text{ kWh}_{\text{pe}} / \text{kWh}_{\text{ee}}^{93}$$

Der gute PE-Faktor für elektrische Energie ergibt sich in Österreich aus dem hohen Wasserkraftanteil bei der Stromerzeugung.

4.3 Aspekte der umweltbezogenen Betrachtung

Kenngroße für die umweltbezogene Bewertung von Energieträgern bzw. Energiesystemen sind die umweltrelevanten CO₂-Emissionen. Der durch CO₂⁹⁴ verursachte zusätzliche Treibhauseffekt hat zu einer globalen Veränderung des Klimasystems geführt.

Wir verfügen heute bereits über Technologien, die Treibhausgase effizient reduzieren können. Das Problem besteht jedoch in der Umsetzung und den damit verbundenen Kosten. Die Mehrkosten für die emissionsärmeren Technologien können als Preis je eingesparte Tonne CO₂ ausgedrückt werden.⁹⁵

Mit dem Handel von Emissionszertifikaten (eingeführt seit 2005) verspricht sich die EU eine kosteneffiziente Einsparung von Treibhausgasen. Der Preis richtet sich nach Angebot und Nachfrage und liegt derzeit bei etwa 15 € pro Tonne CO₂.⁹⁶ In Österreich ist der Handel mit solchen "Zertifikaten" für private Haushalte derzeit nicht möglich.

Im Kapitel 7.3. wird berechnet, welche Emissionsmenge an CO₂ mit Hilfe einer relativ einfachen Maßnahme – der Reduktion an elektrischer Energie durch die Errichtung einer thermischen Solaranlage im Einfamilienhaushalt – reduziert werden kann.

⁹³ Vgl. Faninger, Gerhard: Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden, Januar 2009, Link: www.aee-intec.at/Uploads/dateien644.pdf eingesehen am 26.6. 2010, S. 37

⁹⁴ Kohlendioxid ist mit über 78%, neben anderen wie CH₄ (14%), N₂O (8%) und F-Gasen (1%), das wichtigste Treibhausgas

⁹⁵ Vgl. Hansen, Ulf; Manuskript-Energiewirtschaft; Rostock 2008, Link: http://www.fms.uni-rostock.de/ieut/EWI_MANUSKRIFT_Hansen_2008.pdf, eingesehen am 26.6.2010

⁹⁶ Treibhausgas-Handel: Ungeliebte Konkurrenz beim Rennen ums Klima, Kleine Zeitung, Artikel vom 27. Februar 2010, S. 17

Für die Ableitung der umweltrelevanten CO₂-Äquivalent-Emission wurde ein Umrechnungsfaktor eingeführt. Der CO₂-Faktor in g CO₂ / kWh_{ee} wird auf den Endenergie-Einsatz bezogen. Der CO₂-Faktor für Strom wird aus den Anteilen der Energieträger bei der Stromerzeugung abgeleitet. Für Österreich ist der CO₂-Faktor gem. Stromkennzeichnung 2005 (siehe Abb. 21) nachfolgend angeführt.

$$\text{CO}_2\text{-Faktor} = 256 \text{ g CO}_2 / \text{kWh}_{\text{ee}}^{97}$$

4.4 Aspekte der volkswirtschaftlichen Betrachtung

Aus volkswirtschaftlicher Sicht werden im Zusammenhang mit Solarenergie vor allem folgende Ziele genannt:

- Unabhängigkeit von Staaten, die über fossile Brennstoffressourcen verfügen, sowie deren Preisgestaltung oder deren politische Ambitionen
- Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen
- Reduktion von Schadstoffemissionen und damit Reduktion der Folgekosten.

Zur Erreichung oben angeführter Ziele sind einerseits Förderungen, andererseits Rahmenbedingungen notwendig. Förderungen zielen auf Investitionsanreize. Rahmenbedingungen umfassen je nach Land gesetzliche Vorschriften, z.B. Reduktion von Emissionen über Zertifikate (vgl. Kapitel 4.3.).

Eine betriebswirtschaftliche Bewertung kann mit Hilfe der „Externen Kosten“ in eine volkswirtschaftliche Bewertung übergeführt werden.

Unter „Externen Kosten“ versteht man Kosten, die nicht vom Verursacher (Produzent, Käufer bzw. Nutzer), sondern von der Allgemeinheit (d.h. aus Steuer bzw. Abgabeneinnahmen der öffentlichen Hand) getragen werden.⁹⁸

Verursacht werden diese Kosten durch Umweltschäden aller Art, Unfall- und Gesundheitskosten sowie Langfristrisiken. Diese Folgekosten werden in der Regel bei Investitionsentscheidungen nicht berücksichtigt, und führen zu verzerrten Variantenvergleichen.

Die Höhe dieser Kosten ist häufig umstritten, da verschiedene Modelle zu deren Berechnung angesetzt werden können, die zu unterschiedlichen Ausweisungen der Höhe der „Externen Kosten“ führen.

⁹⁷ Vgl. Faninger, Gerhard: Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden, Januar 2009, Link: www.aee-intec.at/Uploads/dateien644.pdf eingesehen am 26.6.2010, S. 37

⁹⁸ Vgl. ebenda, S. 25

In einer Hinsicht sind sich jedoch alle einig: Die „Externen Kosten“ sind erheblich.⁹⁹

Um „wahre“ Kostenvergleiche zwischen Energiesystemen zu erstellen, müssen deshalb die „Externen Kosten“ (wenn möglich über den Lebenszyklus) in den Vergleich einbezogen werden.

Mit kalkulatorischen (fiktiven) Energiepreis-Zuschlägen werden die „Externen Kosten“ den jeweiligen Energieträgern (und damit dem Verursacher) angelastet und ermöglichen damit einen Vergleich der Heizsysteme auch unter volkswirtschaftlichen Kriterien. Damit werden die energieintensiven und die Umwelt belastenden Energieversorgungssysteme unrentabler, während Energiesparmaßnahmen und der Einsatz erneuerbarer Energiequellen einen rechnerischen Bonus erhalten.¹⁰⁰

Auch wenn damit die externen Kosten die derzeitige wirtschaftliche Überlegenheit der konventionellen Energieträger nicht verändern, erlaubt diese Betrachtung zumindest einen Vergleich unter gleichen Bedingungen.

In der vorliegenden Arbeit (siehe Kapitel 7.4.) wurden für die beiden zu vergleichenden Trinkwassererwärmungsanlagen (elektrisch monovalentes zu solarunterstütztes System) die „Externen Kosten“ berechnet. Dies soll die Höhe der Beträge illustrieren.

Die Kostensätze können als Kosten pro CO₂-Äquivalent (€/ kg CO₂) oder direkt umgerechnet als Kosten pro Endenergie (€/ kWh_{ee}) ausgedrückt werden.

Für die Berechnung wurden Anhaltswerte aus der ÖNORM¹⁰¹ für die externen Kosten der elektrischen Energie entnommen:

Minimale externe Kosten: 0,0085 €/ kWh_{ee}

Mittlere externe Kosten: 0,0135 €/ kWh_{ee}

Maximale externe Kosten: 0,0184 €/ kWh_{ee}

⁹⁹ Vgl. Fresner, Johannes; et al.: Ressourceneffizienz in der Produktion, 2009, S.245

¹⁰⁰ Vgl. Faninger, Gerhard: a.a.O.

¹⁰¹ M7140 Beiblatt 5, 2004

5. Planung und Auslegung von TWE-Anlagen

5.1 Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung

5.1.1 Wahl des Referenzhaushaltes

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird für einen fiktiven Haushalt (Referenzhaushalt) mit folgenden planungsrelevanten Daten durchgeführt:

Angaben zum Standort:

- Graz, im Wohngebiet (mit Straßen und Grünflächen)
- Seehöhe: 370m
- Geographische Breite: 47° 05'
- Geographische Länge: 15° 27'
- Geländeneigung: horizontal
- Horizontüberhöhung: kleiner 10°

Angaben zum Gebäude:

- Gebäudetyp: - Einfamilienhaus
- Montageort der Kollektoren: - Schrägdach mit Dachneigungswinkel 40°
- Dacheindeckung: Tondachziegel
 - Dachausrichtung: Süden
 - Nutzbare Montagefläche: max. 5m x 3m = 15 m²

Angaben für die Trinkwassererwärmung:

- Warmwasserbedarf für:
- 4 Personen: 2 Erwachsene, 2 Kinder
 - Geschirrspülmaschine: nur Kaltwasseranschluss
 - Waschmaschine: nur Kaltwasseranschluss
- Warmwasserentnahmestellen:
- Badewanne 170x75cm mit Dusche u. Einhandmischer
 - Waschtisch mit Einhandmischer
 - Waschbecken mit Einhandmischer im WC
 - Küchenspüle mit Einhandmischer
- Trinkwassererwärmung erfolgt:
- zentral, im Kellergeschoß, ohne Zirkulationsleitung
 - jährlicher Warmwasserverbrauch: nicht bekannt
- Energieträger zur TWE:
- Strom

5.1.2 Ermittlung des Warmwasserbedarfes

Der Warmwasserverbrauch¹⁰² ist der wichtigste Parameter zur Auslegung von Solaranlagen. Je genauer das System auf den Verbrauch abgestimmt wird, umso effizienter arbeitet es.

Wenn die Möglichkeit besteht, sollte der Verbrauch gemessen werden. Es genügt der Einbau eines Wasserzählers in den Zulauf des bestehenden Warmwasserbereiters, der dann über einen gewissen Zeitraum täglich oder wöchentlich abgelesen wird. Solche Messungen liefern eine verlässlichere Grundlage für die Dimensionierung von Anlagen als jede Schätzung.

Art und Anzahl von Entnahmestellen sind Kriterien für den Komfort und die Spitzenverbrauchsmengen, nicht aber für den Gesamtverbrauch.¹⁰³ Es sind nicht die Entnahmestellen, sondern die Menschen, die das Warmwasser für die verschiedensten Zwecke konsumieren. Alle statistischen Angaben werden daher auf Personen bezogen.

Der Warmwasserbedarf ist keine bestimmte absolute Größe und kann daher nicht durch eine bestimmte Kennzahl ausgedrückt werden. Der Warmwasserbedarf ist je nach Standard und Lebensgewohnheiten der Konsumenten sehr großen Schwankungen unterworfen.¹⁰⁴

Der Warmwasserbedarf wird für Wohngebäude in Volumeneinheit pro Person und pro Zeit und der Warmwassertemperatur, für die spätere Energieberechnung, angegeben.

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind beispielhaft Warmwasserbedarfe aus Fachbüchern und aus der VDI-Richtlinie angeführt.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Bedarfswerte aufgrund individueller Gewohnheiten und Komfortansprüche, als auch der Literaturwahl sehr weit auseinander liegen können.

¹⁰² Vom Warmwasserbedarf spricht man in der Planung, vom Wasserverbrauch spricht man hingegen bei Messungen an Ort und Stelle, sowie bei Abrechnungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

¹⁰³ Vgl. Haidenbauer, S.7-100

¹⁰⁴ Vgl. Haidenbauer, S.7-100

Tabelle 2: Warmwasserbedarfe verschiedener Quellen, im Einfamilien-Haushalt

Quelle: Feurich, Hugo: Sanitärtechnik Band 2, 2005, Tabelle 7.33, Seite 7-102

Zweckbestimmung	WW-Bedarf in Liter pro Person und Tag mit 60°C		
	niedriger Komfort	mittlerer Komfort	gehobener Komfort
einfacher Standard	30	40	50
mittlerer Standard	35	50	60
gehobener Standard	40	60	80

niedriger Komfort

bei Anlagenbemessung nicht zu unterschreiten

mittlerer Komfort

Berechnungsgrundlage an Wasser, Wärme, Kosten

gehobener Komfort

für die Berechnung der Heizleistung

Quelle: Haidenbauer: Sanitär- und Klimatechnik, 2003, Tabelle 5, S. 246

einfache Ansprüche	ca. 30 Liter (55°C) pro Person und Tag
höhere Ansprüche	ca. 50 Liter (55°C) pro Person und Tag
höchste Ansprüche	ca. 100 Liter (55°C) pro Person und Tag

Quelle: VDI 2067 Blatt 12, 2000, Tabelle 1

Grundnutzen	personenbezogener Nutzwasserbedarf	Nutztemperatur
	Liter pro Tag	°C
Dusche und Wanne, normal	13 bis 37	40
Waschtisch ¹⁾	8 bis 16	40
Geschirr reinigen: Geschirrspüler mit Kaltwasseranschluss, Rest wird von Hand gespült	1	50
Gesamt	22 bis 54	
Mittelwert	38	(ca. 40,3)

1) Berücksichtigt nur den Bedarf für die morgendliche und abendliche Benutzung

Die Bedarfswerte aus den verschiedenen Quellen in Tabelle 2 wurden in der nachfolgenden Tabelle 3 auf drei Kategorien aggregiert und zu Vergleichszwecken auf eine Nutztemperatur von 45°C bezogen.

Tabelle 3: Vergleich der Warmwasserbedarfe verschiedener Quellen

Werte aus Tabelle 2 von Quelle:	Warmwasserbedarf ¹⁰⁵ in Liter pro Person und Tag mit 45 °C		
	geringer Bedarf	mittlerer Bedarf	hoher Bedarf
Feurich	60	70	85
Haidenbauer	40	65	130
VDI	20	35	50

Quelle: eigene Darstellung (Werte auf 5 Liter genau gerundet)

In der vorliegenden Arbeit wurden für die weiteren Berechnungen folgende Nutzwarmwasserbedarfe mit 45 °C gewählt:

- Geringer Bedarf: **40 l/d P** d.e. bei 4 Personen **160 l/d**
- Mittlerer Bedarf: **60 l/d P** d.e. bei 4 Personen **240 l/d**
- Hoher Bedarf: **90 l/d P** d.e. bei 4 Personen **360 l/d**

5.1.3 Berechnung des Nutzenergiebedarfes

Grundlage für die Berechnung des Tages-Nutzenergiebedarfes ist der im vorigen Kapitel ermittelte Nutzwarmwasserbedarf.

Der Tages-Nutzenergiebedarf $q_{N,d}$ wird nach folgender Formel ermittelt:

$$q_{N,d} = V_{N,d} \cdot \rho \cdot c \cdot (\vartheta_N - \vartheta_K) \quad \text{in kWh/d} \quad [5.1.]$$

$V_{N,d}$ Tages-Nutzwarmwasserbedarf in l/d

ρ Dichte des erwärmten Trinkwassers = 1 kg/l

c spezifische Wärmekapazität des Wassers = $1,16 \times 10^{-3}$ kWh/kg K

ϑ_N Nutztemperatur in °C

ϑ_K Kaltwassertemperatur = 10 °C

Der jährliche Nutzenergiebedarf (Q_N) errechnet sich mit 365 Anwesenheitstagen pro Jahr mit der Formel:

$$Q_N = q_{N,d} \cdot 365 \quad \text{in kWh/a} \quad [5.2.]$$

Die jährlichen Nutzenergiebedarfe wurden mit Nutztemperatur 45 °C nach Formel 5.1. und 5.2. ermittelt:

- Geringer Bedarf: mit 160 l/d **2.371 kWh/d**
- Mittlerer Bedarf: mit 240 l/d **3.557 kWh/a**
- Hoher Bedarf: mit 360 l/d **5.335 kWh/a**

¹⁰⁵ bezogen auf eine Kaltwassertemperatur von 10 °C

5.2 Elektrisch beheizte Trinkwassererwärmung als Vergleichssystem

5.2.1 Wahl des Anlagensystems

Als Vergleichssystem wurde eine wohnungszentrale Warmwasserversorgung (Beschreibung siehe Kapitel 2.2) gewählt. Die Schematische Darstellung siehe Abbildung 22. Zur Trinkwassererwärmung dient ein Elektrowarmwasserspeicher mit eingebautem elektrischen Heizkörper.

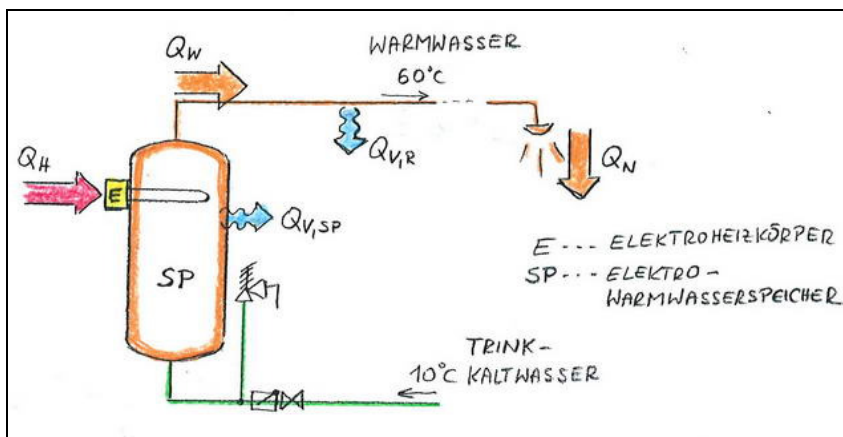


Abbildung 22: Schaltschema einer elektrisch beheizten TWE-Anlage mit Energieflüssen

5.2.2 Auslegung und Dimensionierung

Bemessung des Speicherinhaltes:

Der Speicherinhalt beim Einfamilienhaus soll mindestens für zwei aufeinander folgende Wannen- oder Brausebäder ausgelegt sein. Für eine Badewanne mit einem Nutzinhalt von 150 Liter Wasser und einer Nutztemperatur von 40°C errechnet sich bei einer Kaltwassertemperatur von 10°C und einer Speichertemperatur von 60°C nachfolgende Speichergröße:

$$G_{SP} = G_{BW} \cdot n \cdot \frac{(\vartheta_N - \vartheta_K)}{(\vartheta_{SP} - \vartheta_K)} \quad [5.3.]$$

G_{SP} Speichergröße - Nutzinhalt in Liter

G_{BW} Badewannengröße - Nutzinhalt in Liter

n aufeinander folgende Nutzung der Badewanne

ϑ_N Nutztemperatur in °C (= 40 °C)

ϑ_K Kaltwassertemperatur = 10 °C

ϑ_{SP} Speicherwassertemperatur = 60 °C

$$G_{SP} = 150 \cdot 2 \cdot \frac{(40 - 10)}{(60 - 10)} = 180 \text{ Liter}$$

Unter Berücksichtigung eines Zuschlags von ca. 10% für die Wannenreinigung und der Totraum-Verluste im Speicher wurde ein

Elektro-Standspeicher mit einem **Nenninhalt von 200 Liter** gewählt.

Ermittlung der Heizleistung:

Die Heizleistung eines eingebauten elektrischen Heizkörpers wird nach folgender Formel ermittelt:

$$P_H = G_{SP} \cdot \rho \cdot c \cdot (\vartheta_{SP} - \vartheta_K) \cdot \frac{1}{n_A} \quad [5.4.]$$

P_H elektrische Leistung des Heizkörpers in kW

n_A Aufheizzeit in Stunden (gewählt 4 Stunden, üblicher Wert im Einfamilienhaushalt)

ϑ_{SP} Speicherwassertemperatur¹⁰⁶

$$P_H = 200 \cdot 1 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot (70 - 10) \cdot \frac{1}{4}$$

Gewählt: Elektro-Heizkörper mit einer **Leistung von 3,5 kW**

5.2.3 Berechnung des Energieaufwandes

Bei der Berechnung des Energieaufwandes für die Erzeugung sind zusätzlich zum Nutzenergiebedarf noch sämtliche Bedarfe, die für die Erwärmung des Trinkwassers notwendig sind, zu berücksichtigen. Diese sind:

a) Wärmeverluste des Elektrospeichers

Ist das Fabrikat nicht bekannt, kann der tägliche Wärmeverlust (bezogen auf Speichertemperatur 60°C und Raumlufthtemperatur 20°C) nach folgender Näherungsformel¹⁰⁷ bestimmt werden:

$$q_{V,SP,d} = 0,2 + 0,03 \cdot G_{SP}^{0,7} \quad [5.5.]$$

$q_{V,SP,d}$ täglicher Wärmeverlust des Speichers in kWh/d
(auch Bereitschaftswärmeaufwand genannt)

G_{SP} Speichergröße - Nutzhalt in Liter

¹⁰⁶ Für die Bemessung der Heizleistung ist eine Temperatur von 70°C gewählt worden, um auch innerhalb der Aufheizzeit periodisch eine thermische Desinfektion durchführen zu können.

¹⁰⁷ nach VDI 2067, Blatt 22, Formel 36

Daraus errechnet sich ein täglicher Wärmeverlust des Speichers von:

$$q_{V,SP,d} = 0,2 + 0,03 \cdot 200^{0,7} = 1,42 \text{ kWh/d}$$

Die jährlichen Wärmeverluste des Elektrospeichers ($Q_{V,SPe}$) errechnen sich mit 365 Anwesenheitstagen pro Jahr nach der Formel:

$$Q_{V,SPe} = q_{V,SP,d} \cdot 365 \quad \text{in kWh/a} \quad [5.6.]$$

$$Q_{V,SPe} = 1,42 \cdot 365 = 518 \text{ kWh/a}$$

b) Wasser- und Wärmeverluste beim Ein- und Nachregulieren von Armaturen

zum Beispiel während der Temperaturregelung bei einer Nutzung unter fließendem Wasser (beim Duschen, Händewaschen)

c) Wasser- und Wärmeverluste für den Stichleitungsbetrieb

zum Beispiel bei Wasserentnahmen, wo zunächst das in den Rohren abgekühlte Wasser ungenutzt abfließt.

Die zusätzlichen Wärmeverluste (b, c) wurden - in Anlehnung an die VDI 2067¹⁰⁸ - mit ca. 13% bezogen auf den Nutzenergiebedarf, angesetzt. Diese Verluste sind abhängig von der Warmwasser-Rohrleitungslänge, sowie von der Ausführung der Wärmedämmung.

$$q_{V,R,d} = Q_{N,d} \cdot 0,13 \quad [5.7.]$$

$q_{V,R,d}$ täglicher Wärmeverlust der Warmwasser-Verteilleitung in kWh/d

$Q_{N,d}$ Tages-Nutzenergiebedarf in kWh/d

$$q_{V,R,d} = 9,74 \cdot 0,13 = 1,27 \text{ kWh/d}$$

Die jährlichen Wärmeverluste der Warmwasser-Verteilung ($Q_{V,R}$) errechnen sich mit 365 Anwesenheitstagen pro Jahr nach der Formel:

$$Q_{V,R} = q_{V,R,d} \cdot 365 \quad \text{in kWh/a} \quad [5.8.]$$

$$Q_{V,R} = 1,27 \cdot 365 = 464 \text{ kWh/a}$$

¹⁰⁸ Vgl. VDI 2067 B1.22, Beispiel Tab. 9.1.

In nachfolgender Tabelle 4 sind die Ergebnisse der jährlichen Energiemengen zusammengestellt und in Abbildung 23 in einem Energiefluss-Diagramm dargestellt.

Tabelle 4: Zusammenstellung der Energiemengen der elektrisch beheizten TWE

Bezeichnung der Energie		Symbol	Berechnung über Werte aus Zeile	jährliche Energiemengen abhängig vom täglichen WW-Bedarf mit 45°C		
				160 l/d	240 l/d	360 l/d
1	Nutzenergiebedarf	Q_N		2.371	3.557	5.335
2	Wärmeverluste - WW-Verteilung	$Q_{V,R}$		464	464	464
3	Wärmebedarf ab Speicher	Q_W	1+2	2.835	4.021	5.799
4	Wärmeverlust - Speicher	$Q_{V,SP}$		518	518	518
5	Wärmebedarf - Gesamt	Q_G	3+4	3.353	4.539	6.317

Es wird angenommen das die jährlichen Wärmeverluste (Zeile 2, 4) unabhängig des Bedarfs konstant bleiben

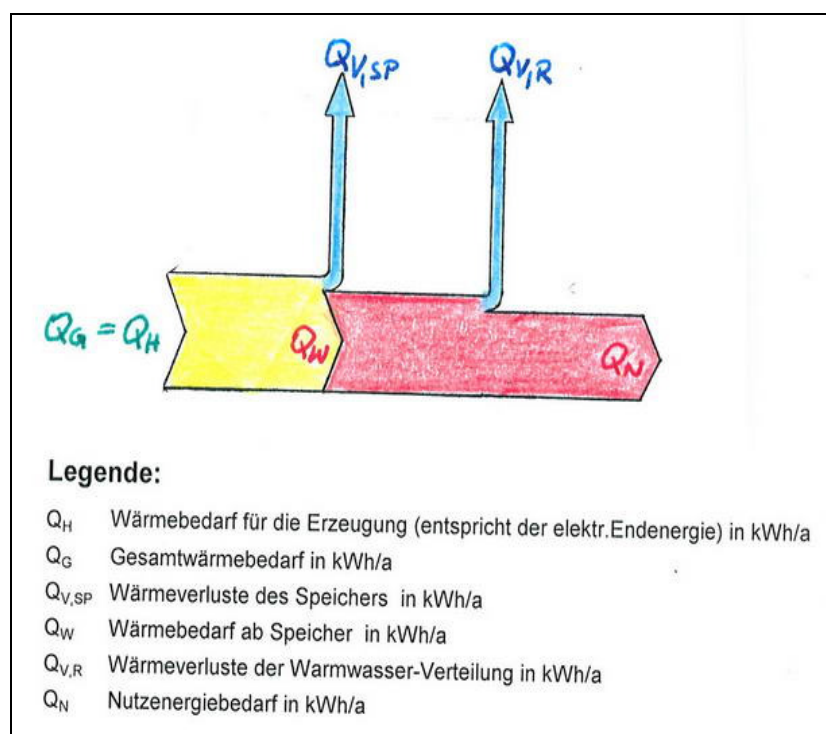


Abbildung 23: Energieflussschema der elektrisch beheizten TWE-Anlage

5.3 Solarunterstützte Trinkwassererwärmung

5.3.1 Berechnungsgrundlagen

5.3.1.1 Klimadaten

Globalstrahlung:

Die mittlere flächenbezogene Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche in Graz ist aus Anhang F ersichtlich. Auszüge aus der ÖNORM M 7701, Beiblatt 2

- für die mittleren Monats- und Jahressummen der flächenbez. Globalstrahlung sowie
 - für die mittleren monatlichen Stundensummen der flächenbezogenen Globalstrahlung
- sind im Anhang F beigelegt.

Lagefaktor:

Die mittlere flächenbezogenen Globalstrahlung auf die Kollektor-Eintrittsfläche wird unter Berücksichtigung des Lagefaktors für die tatsächliche Orientierung und Neigung des Kollektors errechnet.

Eine Tabelle mit den Lagefaktoren für Österreich ist im Anhang G (Auszug aus der ÖNORM M 7701, Beiblatt 2) beigelegt.

Sonnenweg-Diagramm:

Ist die Horizontüberhöhung im Bereich des Sonnenweg-Diagramms (siehe Anhang H) größer als 12°, muss lt. ÖNORM M 7701 ein Besonnungsfaktor berücksichtigt werden.

Graz wird im Westen vom Plabutsch-Buchkogel-Höhenzug begrenzt. Der Plabutsch ist mit 754m Seehöhe auch die höchste Erhebung im Stadtgebiet.

Aus dem Sonnenweg-Diagramm (Anhang H) ist ersichtlich, dass die Horizontüberhöhung kleiner 10° ist (ausgenommen man befindet sich in der Nähe oder direkt am Berghang oder ein Hochhaus beschattet die Sonnenkollektoren am Sonnenweg). In der vorliegenden Arbeit ist keine Horizontüberhöhung berücksichtigt.

Sonnenstunden:

In Graz beträgt der langjährige Mittelwert der Sonnenscheindauer **1.890 Stunden**¹⁰⁹

¹⁰⁹ Quelle: Klimadaten von Österreich 1971-2000

5.3.1.2 Ausrichtung der Sonnenkollektoren

Neigung der Kollektorfläche:

Die Werte für die Globalstrahlung beziehen sich auf eine horizontale Ebene. Diese Werte werden durch die Neigung der Kollektorfläche beeinflusst. Ist der Kollektor geneigt, verändert sich der Einstrahlungswinkel, die Bestrahlungsstärke und damit die Energiemenge. Die flächenbezogene Jahressumme der Globalstrahlung ist also abhängig von der Neigung (siehe dazu Abbildung 24).

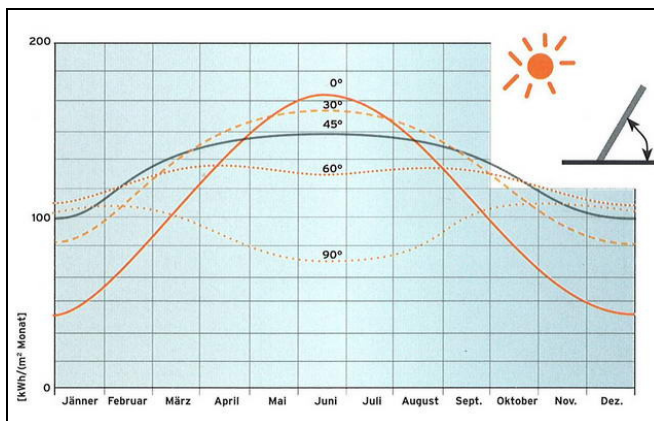


Abbildung 24: Einfluss der Kollektorneigung¹¹⁰

Ausrichtung der Kollektorfläche:

Ein weiterer Faktor für die Berechnung der zu erwartenden Energiemenge ist die Ausrichtung der Kollektoren. Abweichungen der Kollektorfläche aus der Südausrichtung werden mit dem Azimutwinkel beschrieben. In der Solartechnik hat eine nach Süden ausgerichtete Fläche den Azimutwinkel 0° , eine nach Westen $+90^\circ$ und eine nach Osten ausgerichtete Fläche -90° . In Abbildung 25 ist das Zusammenwirken von Ausrichtung und Neigung und deren Einfluss auf den Solarertrag dargestellt.

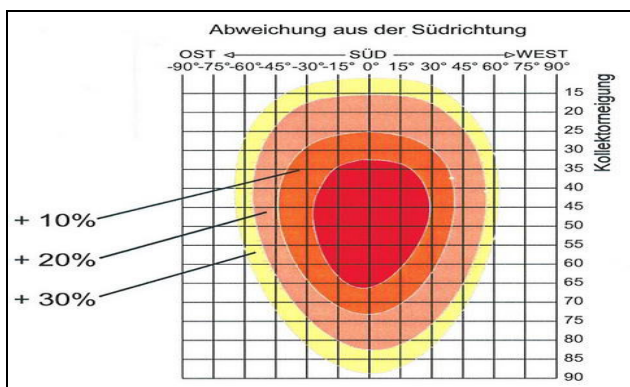


Abbildung 25: Einfluss der Kollektororientierung auf den Solarertrag¹¹¹

¹¹⁰ Quelle: Fa. Sonnenkraft, Planerhandbuch

¹¹¹ Quelle: Fa. ÖkoTech GmbH, Graz, Auslegung - Warmwasser

Gegenüber den optimalen Bedingungen (z.B. Südausrichtung mit Azimut 0° und etwa 40° Neigung) verringert sich zum Beispiel der Ertrag bei Südwest-Ausrichtung $+45^\circ$ und 40° Neigung um ca. 20% bzw. die Kollektorfläche muss um ca. 20% vergrößert werden.

Empfohlene Bandbreite der Ausrichtung und Neigungswinkel von Kollektorflächen für die Warmwasserbereitung in Graz:

Ausrichtung	nach Osten	bis 15°
	nach Westen	bis 15°
Neigung	ca. 35° bis 60°	

Neigungswinkel die kleiner als 15° sind, sind aus technischen Gründen wie z.B. erschwerte Konvektion im Kollektor und damit einen schlechten Feuchteaustrag über die Öffnungen, sowie aufgrund des abnehmenden Selbstreinigungseffektes durch Regen nicht zu empfehlen. Bezüglich Kondensatbildung in Flachkollektoren siehe Beschreibung im Anhang M.

Ausrichtung und Neigung werden für die Berechnung der zu erwartenden Energiemengen mit dem Lagefaktor (siehe Kapitel 5.3.1.1) berücksichtigt.

In vorliegender Arbeit entspricht die Kollektororientierung der Dachausrichtung 0° (Süd) und die Neigung des Schrägdaches 40° (vgl. Kapitel 5.1.1.).

5.3.1.3 Kennzahlen solarunterstützter Wärmeversorgungsanlagen

Solarer Deckungsgrad:

Die gebräuchlichste Bewertungsziffer für ein thermisches Solarsystem ist der solare Deckungsgrad. Mit diesem wird der solare Anteil an der Energiebereitstellung beschrieben. Dennoch gibt es für den solaren Deckungsgrad keine einheitliche mathematische Definition. In der Literatur und auch in marktüblichen Simulationsprogrammen wird diese nach verschiedenen Formeln berechnet, deren Ergebnisse teilweise stark differieren.

Der Bezugszeitraum ist üblicherweise ein Jahr, kann aber über jede beliebige Zeitperiode errechnet werden.

Folgende Formel definiert den solaren Deckungsgrad als Anteil an der gesamten Energiemenge, die vom Solarkreislauf und der Zusatzheizung in den Speicher geliefert wird.

$$SD = \frac{Q_{\text{SOLAR}}}{(Q_{\text{SOLAR}} + Q_{\text{H}})} \cdot 100 \quad [5.11]$$

SD solarer Deckungsgrad in %

Q_{SOLAR} Energieeintrag in Solarspeicher in kWh/Periode

Q_{H} Zusatzheizung (elektr. Energie) in kWh/Periode

Bei diesem Berechnungsmodell werden die Wärmeverluste (WW-Verteilung und Speicher) zur Nutzenergie hinzugerechnet.

Bei anderen Rechenmodellen, wie zum Beispiel:

$$SD = \frac{Q_{\text{SOLAR}}}{Q_{\text{N}}} \cdot 100 \quad [5.12]$$

Q_{N} Nutzenergie in kWh/Periode

werden die Verluste dem konventionellen Heizsystem zugeordnet;

Bei Verwendung der Formel:

$$SD = \frac{(Q_{\text{N}} - Q_{\text{H}})}{Q_{\text{N}}} \cdot 100 \quad [5.13]$$

werden die Verluste der Solaranlage zugerechnet. Diese Betrachtungsweise ist die Ungünstigste für die Solaranlage. Sie ist zum Beispiel für Systeme, bei denen der Speicher nur wegen der Solaranlage eingesetzt wird gerechtfertigt.

Für die vorliegende Arbeit wird die Formel [5.11] verwendet.

Im Einfamilienhausbereich wird ein ca. 60%iger solarer Jahresdeckungsgrad empfohlen, da damit eine weitgehende Vollabdeckung des Wärmebedarfs für das Trinkwarmwasser in den Sommermonaten erreicht wird.¹¹²

Solarer Ertrag:

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen ist weniger der Anteil des Wärmebedarfs, den die Solaranlage bereitstellt (Solarer Deckungsgrad), sondern vielmehr welche Endenergieeinsparung pro Quadratmeter installierter Kollektorfläche erreicht werden kann. Der spezifische Solarertrag ist demnach die Zielgröße für die Wirtschaftlichkeit von thermischen Solaranlagen, deren Refinanzierung sich über die eingesparte elektrische Nachheizenergie der Elektroheizung ergibt.

Beim spezifischen Solarertrag wird die jährliche Energiemenge (solarer Ertrag), welche von der Solaranlage an den Speicher übergeben wird, auf die Kollektorfläche (vgl. Kapitel 2.4.3.1. Abb. 17) bezogen.

¹¹² Vgl. Feurich, Hugo; a.a.O., S.7-90

$$SE = Q_{\text{SOLAR}} / F_a \quad [5.14]$$

SE spezifischer Solarertrag in kWh/m²a

Q_{SOLAR} Energieeintrag in Solarspeicher in kWh/a

F_a Aperturfläche in m²

Für die Prognose stehen einerseits Simulationsprogramme, andererseits Auslegungsdigramme von Herstellern und Instituten zur Verfügung. Die meisten Vertriebsfirmen von Solaranlagen bieten das Service, die geplante Anlage zu simulieren.

Um die Voraussetzungen für eine Investitionsförderung zu erfüllen muss der spezifische Solarertrag $\geq 350 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ betragen (vgl. Kapitel 3.2)

Bemerkungen zum garantierten Ertrag:

"Bei der Investitionsentscheidung für eine thermische Solaranlage sind der Kostenfaktor und das mögliche techn. Risiko oft entscheidende Hindernisse."¹¹³

Daher wird oft diskutiert, dass dem Investor vom Anlagenerrichter Mindesterträge der solaren Nutzwärme ($=Q_{\text{SOLAR}}$) garantiert werden sollten. Im Rahmen der Förderrichtlinie ist ein Mindestertrag von 350 kWh/m^2 zu erzielen, dazu ist auch ein Wärmemengenzähler im Solarkreis einzubauen. Es ist jedoch schwierig - insbesondere bei Kleinanlagen - bei Nichterbringung der Energielieferung aus der Solaranlage, ohne Zusatzinformationen (Einstrahlung, Verbrauch, verändertes Benutzerverhalten) eine Fehlfunktion oder Fehlauslegung zu diagnostizieren.

Dazu wären sogenannte Input-Output-Controller notwendig, welche das Betriebsverhalten des Solarsystems als auch das Benutzerverhalten (Warmwasser-Verbrauch, Energieverbrauch) aufzeichnen. Anhand der Aufzeichnungen können dann die ursprünglich angenommenen Auslegungsgrößen überprüft werden.

Bei großen Solaranlagen (Kollektorfläche größer als 20 m^2) ist dies zweckmäßig, jedoch für Kleinanlagen sowie im Einfamilien-Haushalte nicht zielführend. Die Anschaffungskosten sowie die betriebsgebundenen Zahlungen (Wartung, Auswertung) würden sich weiter erhöhen und somit die Anlage noch unrentabler machen.

¹¹³ VDI 6002-1, S. 73, Pkt. 6.2.2.

Systemnutzungsgrad:

Der Systemnutzungsgrad ist ein wichtiger Parameter zur Bewertung von Solarsystemen. Im Gegensatz zum Wirkungsgrad betrachtet der Nutzungsgrad einen längeren Zeitraum, zum Beispiel ein Monat oder ein Jahr¹¹⁴.

Der Systemnutzungsgrad wird berechnet nach folgender Formel:

$$SN = \frac{Q_{SOLAR}}{Q_E} \cdot 100 \quad [5.14]$$

SN Systemnutzungsgrad in %

Q_E eingestrahlte Energie (Globalstrahlung) in kWh/Periode

Q_{SOLAR} Energieeintrag in Solarspeicher in kWh/Periode

Typische jährliche Systemnutzungsgrade von Solaranlagen liegen zwischen 30% u. 50%.

5.3.2 Wahl des Anlagensystems

Als solarunterstützte Trinkwassererwärmungsanlage wurde eine Standard-Solaranlage (Beschreibung, siehe Kapitel 2.4.2) gewählt. Abbildung 26 zeigt eine schematische Darstellung.

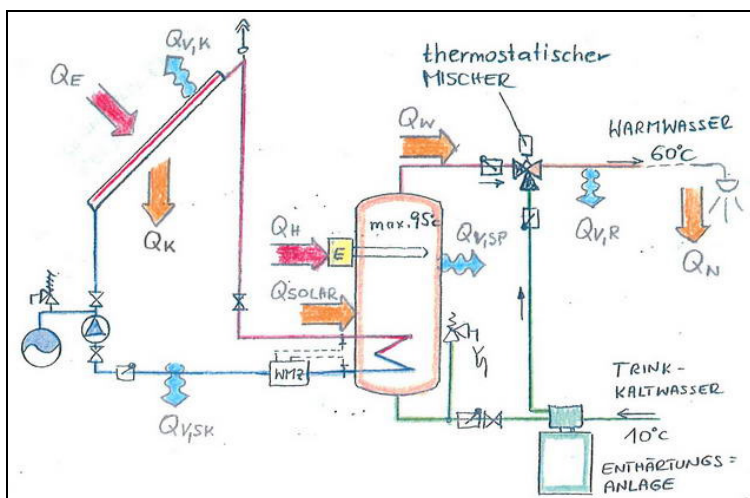


Abbildung 26: Schaltschema einer solarunterstützten TWE-Anlage mit Energieflüssen

Zur Trinkwassererwärmung dient ein bivalenter Solarspeicher, welcher im unteren Teil den Wärmeaustauscher für die Solarenergie und im oberen Teil einen elektrischen Heizkörper eingebaut hat. Der Solarkreis wird als High-Flow-Anlage (vgl. Kapitel 2.4.2) betrieben. Als Sonnenkollektoren wurden Flachkollektoren mit selektiver Beschichtung (vgl. Kapitel 2.4.3.1) gewählt.

¹¹⁴ Vgl. Feurich, Hugo: a.a.O., S. 7- 90

5.3.3 Auslegung und Dimensionierung

Bei Solaranlagen müssen in erster Linie die Kollektorflächen und der Speicher dimensioniert werden. Alle anderen Größen für Rohrleitungen, Pumpen, Wärmeaustauscher und Ausdehnungsgefäß ergeben sich daraus.¹¹⁵

5.3.3.1 Kollektorfläche

Folgende Faktoren sind für die Dimensionierung der Kollektorfläche maßgebend:

- Warmwasserverbrauch
- gewünschter solarer Deckungsgrad
- Standort, lokale Klimadaten
- Ausrichtung und Neigung
- Kollektortyp

Folgende Mindestwerte sollen bei der Dimensionierung eingehalten werden:

- spezifischer solarer Mindestertrag (350 kWh/m²a - für Investitionsförderung)
- Mindest-Kollektorfläche (5 m² Aperturfläche – für Investitionsförderung)
- Mindest-Speichervolumen (200 Liter – für 4 Personenhaushalt)

Für die überschlägige Dimensionierung der Kollektorfläche für eine Anlage zur Trinkwassererwärmung im Einfamilien-Haushalt können folgende Faustregeln und folgendes Nomogramm verwendet werden:

- Faustformel nach Feurich¹¹⁶:

Bei mittlerem Verbrauch, guter Ausrichtung und einer 60-prozentigen Deckung des Trinkwasserbedarfs kann als Faustregel mit ca. 1,5 m² Flachkollektor pro Person gerechnet werden.

- Nomogramm nach Feurich¹¹⁷:

Eine detaillierte Dimensionierung von Trinkwassererwärmungsanlagen kann auch mit einem Nomogramm wie in Abbildung 27 gezeigt, vorgenommen werden, das alle wichtigen Auslegungsparameter berücksichtigt. Das abgebildete Nomogramm gilt für Deutschland, soll aber dessen Anwendung zeigen.

- Faustformel nach VDI 6002¹¹⁸:

Solaranlagen für Einfamilienhäuser sind bei einer Auslastung (spezifische Last – bezogen auf die Kollektorfläche) von ca. 40 Liter/(d m²) mit 45 °C meist günstig ausgelegt.

¹¹⁵ Vgl. Feurich, Hugo: a.a.O., S. 7- 92

¹¹⁶ Vgl. Feurich, Hugo: a.a.O., S. 7- 93

¹¹⁷ Vgl. Feurich, Hugo: a.a.O.; S. 7- 88

¹¹⁸ Vgl. VDI 6002, Blatt 1; S. 27f

Das entspricht bei einem 4-Personen-Haushalt und einem Nutzwarmwasserbedarf von 240 Liter/d (vgl. Kapitel 5.1.2) einer Kollektorfläche von ca. 6,0 m²

In vorliegender Arbeit ist eine Kollektorfläche von **6,0 m²** bezogen auf die Aperturfläche gewählt worden.

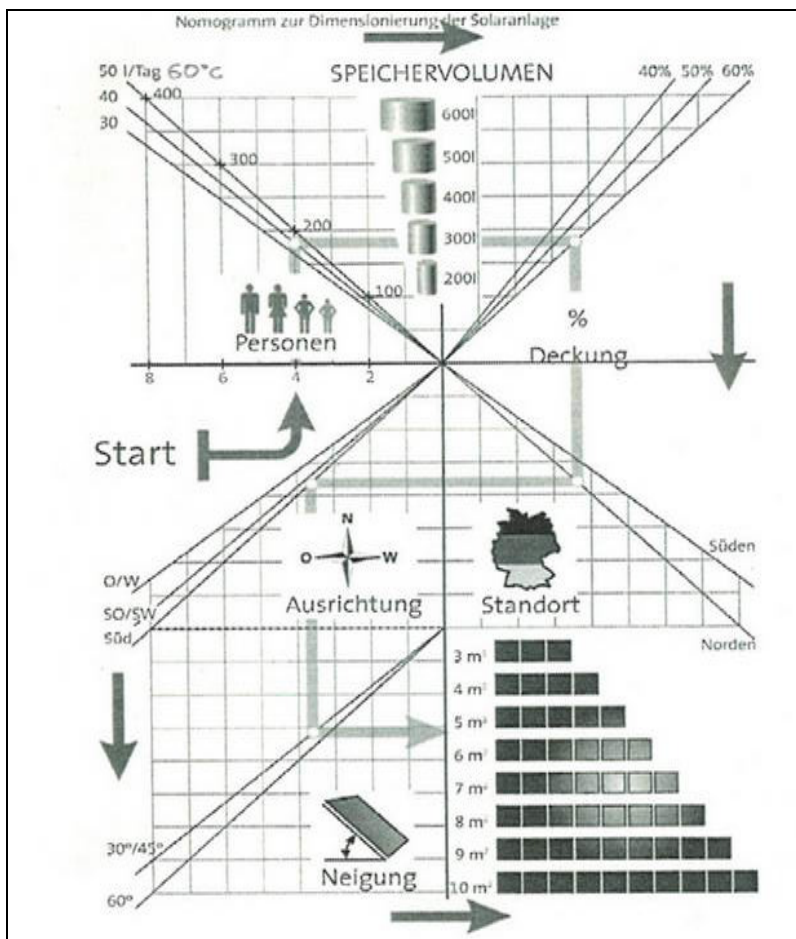


Abbildung 27: Nomogramm zur Kollektor- und Speicherdimensionierung¹¹⁹

5.3.3.2 Solarspeicher

Für einen guten Anlagenenertrag ist die Dimensionierung des Solarspeichers besonders wichtig. Die erforderliche Größe hängt in erster Linie vom Warmwasserverbrauch aber auch entscheidend vom Verbrauchsprofil ab. Wird z.B. warmes Wasser tagsüber verbraucht, wenn die Sonne scheint, kann der Speicher kleiner dimensioniert werden, als wenn die Nutzer hauptsächlich morgens und abends Warmwasser verbrauchen.¹²⁰

¹¹⁹ Vgl. Feurich, Hugo: a.a.O., S. 7- 88

¹²⁰ Vgl. ebenda, S. 7- 92

Ein zu groß dimensionierter Speicher kann von der Sonne nicht richtig erwärmt werden und bleibt immer nur lauwarm.

Ein zu klein dimensionierter Speicher wird sehr schnell warm und erreicht seine Maximaltemperatur, worauf die Solaranlage abgeschaltet werden muss. Noch verfügbare Sonnenenergie wird nicht genutzt.

Für eine überschlägige Auslegung des Solarspeichers kann mit ca. 50-60 Liter pro m² Kollektorfläche gerechnet werden. Für Einfamilienhäuser haben sich folgende Größen für bivalente Solarspeicher bewährt¹²¹:

- Anlagen mit 4-6 m² Kollektorfläche: ca. 300 Liter
- Anlagen mit 6-8 m² Kollektorfläche: ca. 400 Liter
- Anlagen mit 8-10 m² Kollektorfläche: ca. 500 Liter

In vorliegender Arbeit ist eine Solarspeichergroße von **300 Liter** gewählt worden.

5.3.3.3 Rohrleitungssystem und Zubehör

Wärmeaustauscher:

Für die Auslegung eines im Speicher integrierten Wärmeaustauschers sind bei einer mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz von maximal 10 K bei voller Leistung folgende Auslegungen zu empfehlen¹²²:

- Glattrohrwärmeaustauscher: ca. 0,2 bis 0,3 m²_{WT}/m²_{KF}
- Rippenrohrwärmeaustauscher: ca. 0,3 bis 0,4 m²_{WT}/m²_{KF}

Index: WT Wärmeaustauscher Oberfläche

Index: KF Kollektorfläche

Rohrleitungssystem:

Die Rohrleitung ist für Kleinanlagen mit einem Durchfluss von ca. 30 bis 50 Liter/hm² (High-Flow) zu dimensionieren. Das Leitungssystem ist so auszuführen, dass es den besonderen Anforderungen bezüglich Temperatur (bis 180 °C), Druck (bis max. 10 bar) und eingestelltem Wärmeträger standhält. Zum Einsatz kommen handelsübliche metallische Rohre mit den dazugehörigen Verbindungstechniken, z.B. nahtlose Kupferrohre (Ø 22 x 1 mm) oder nahtlose Stahlrohre (DN20). Sämtliche Rohrleitungen und Armaturen sind mit einer geeigneten Wärmedämmung auszustatten.

¹²¹ Vgl. VDI 6002 Blatt 1, Pkt. 4.5.2, S. 40

¹²² Vgl. VDI 6002 Blatt 1, Pkt. 4.6.3; S.41

Die Umwälzpumpe muss die hydraulischen Anforderungen im Kollektorkreis erfüllen und beständig gegenüber:

- eingesetztem Wasser-Glycol-Gemisch
- Temperaturen im Normalbetrieb zwischen -10°C bis 100°C
- einem Stagnationsfall, je nach Einbauort bis zu 120°C
- Umgebungstemperaturen von 40°C , und
- dem am Einbauort maximal auftretenden Druck

sein.¹²³

Weitere wichtige Anlagenkomponenten für einen störungsfreien Betrieb der Anlage sind:

- solares Expansionsgefäß (Größe ca. $5 \text{ l/m}^2_{\text{KF}}$)
- Sicherheitsventil
- Luftabscheider

5.3.4 Berechnung des Energieaufwandes

Für die Berechnung von Ertragsprognosen eignen sich einschlägige Computerprogramme. Folgende marktüblichen Simulationsprogramme um nur einige zu nennen stehen zur Verfügung:

- POLYSUN
- T*SOL
- GET-SOLAR

In der vorliegenden Arbeit wurde das dynamische Simulationsprogramm der Fa. Polysun für thermische Solaranlagen verwendet, welches von einem namhaften österreichischen Sonnenkollektorhersteller als Demo-Version (Version S.0.0.9) zur Verfügung gestellt wurde.

Das Programm berücksichtigt sämtliche Einflussfaktoren einschließlich der Klimadaten (Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur) am gewünschten Standort, in stündlicher Auflösung und für den Zeitraum eines Jahres.

Das Simulationsprogramm arbeitet - wie auch alle anderen - nach dem sogenannten Zeitschrittverfahren, das heißt die Anlagensimulation findet in variablen Zeitschritten im Bereich von sechs bis zu einer Minute statt.

¹²³ Vgl. VDI 6002 B1.1, Pkt. 4.8.1.; S. 49

Der Nachteil der Demo-Version ist, dass die anlagenspezifischen Daten (wie für Kollektoren und Speicher) sowie Anlagenschemata herstellerspezifisch sind und – trotz großer Auswahlmöglichkeiten an verschiedenen Kollektortypen und -größen – keine objektive Beurteilung zulassen.

Neben den Standortangaben und der Auswahl des Anlagenschemas wurden in das Simulationsprogramm folgende Daten eingegeben:

Haushaltsangaben:

- Personen: 4
- Warmwasserverbrauch: 240 l/d mit 45°C
- Verbrauchsprofil: ganzjährig, konstanter Tagesverbrauch
- Tagesprofil: Morgenspitze (mit vom Programm vorgegebener Verteilung über den Tag)
- Anwesenheit übers Jahr: 100%

Kollektorangaben:

- gewählt wurde ein Kollektor für eine Indach-Montage mit folgenden Leistungskennzahlen: $\eta_0=0,78$; $a_1=3,796 \text{ W/m}^2\text{K}$; $a_2=0,013 \text{ W/m}^2\text{K}^2$ und einer Aperturfläche von $2,3 \text{ m}^2$ pro Modul.
- Kollektorausrichtung: 0° (Süd)
- Kollektorneigung: 40°
- Kollektorfläche: Mehrfachrechnung mit 1, 2, 3, 4 und 5 Module(n)

Solarkreis:

- Solarvorlauf 15 m, Cu \varnothing 22 x 1 mm, Isolierstärke 20 mm
- Solarrücklauf 15 m, Cu \varnothing 22 x 1 mm, Isolierstärke 20 mm
- Solarpumpe mit konstantem Durchsatz: 40 l/hm^2

Solarspeicher:

- Speichergröße: wurde in Abhängigkeit der gewählten Kollektorfläche gewählt ($50\text{-}70 \text{ l/m}^2$, Mindestinhalt 200 l)
- Speichertemperatur: max. 90°C

Verbraucherseite:

- Warmwasserleitung 2 m, Cu \varnothing 22 x 1 mm, Isolierstärke 20 mm
- Mischwasserleitung 15 m, Cu \varnothing 22 x 1 mm, Isolierstärke 20 mm

Mit Hilfe des Simulationsprogramms wurden Mehrfachrechnungen mit unterschiedlichen Aperturflächen durchgeführt. Anschließend sind die Berechnungen mit den gleichen Eingabedaten, jedoch einmal mit geringem Warmwasserverbrauch (160 l/d) und einmal mit hohem Warmwasserverbrauch (360 l/d) wiederholt worden. Im Anhang (I) sind die Ergebnisse der Berechnungen tabellarisch dargestellt.

Das Simulationsprogramm Polysun rechnet für den Standort Graz mit einer Sonneneinstrahlung (Globalstrahlung) von ca. 1.350 kWh/m². Im Gegensatz zur ÖNORM M 7701-2 (siehe Anhang F), wo 1.122 kWh/m² als Globalstrahlung angegeben sind. Bei beiden fehlt die Angabe des Zeitraumes der Beobachtung.

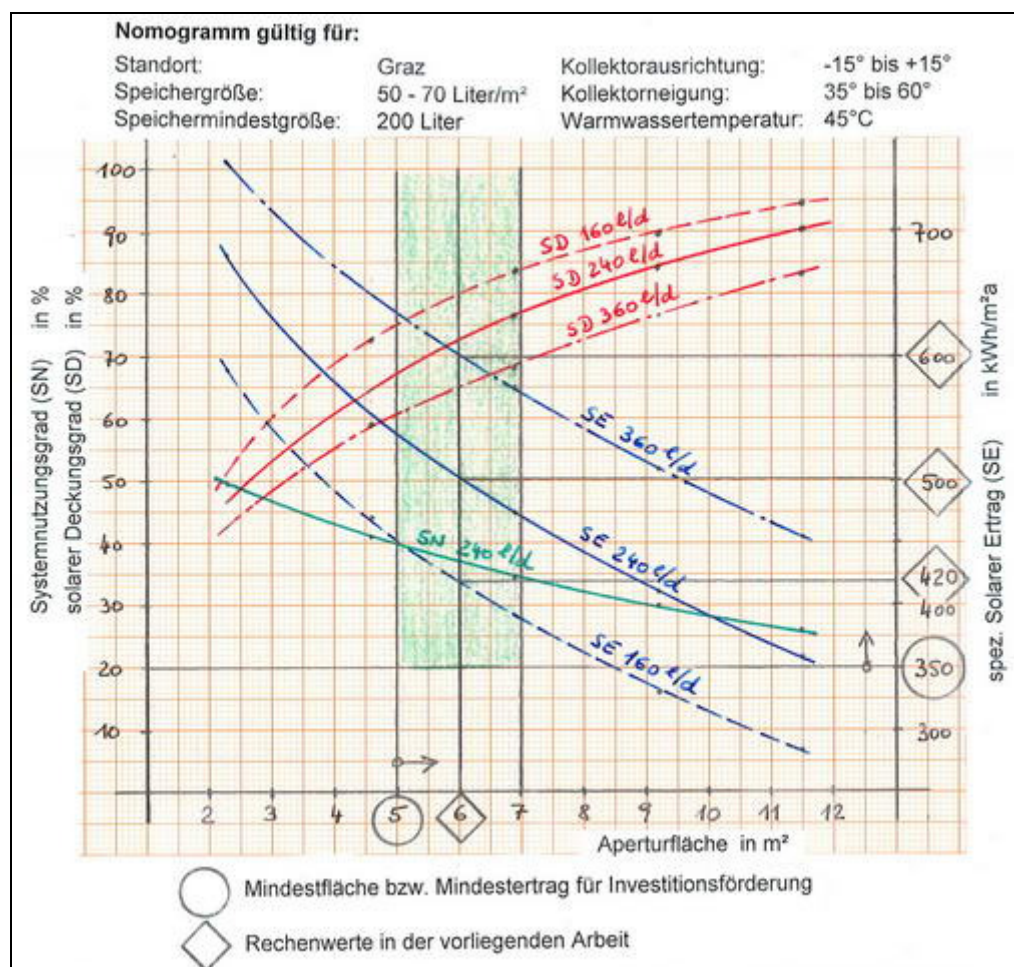


Abbildung 28: Nomogramm zur Ermittlung der Kennwerte

Aus den Tabellenwerten (Aperturfläche, Warmwasserverbrauch, solarer Deckungsgrad, spezifischer solarer Ertrag, Systemnutzungsgrad) wurde ein Nomogramm generiert, welches in Abbildung 28 dargestellt ist. Der hellgrün hinterlegte Bereich zeigt den empfohlenen Auslegungsbereich, welcher sich gut mit den überschlägigen Berechnungen der Aperturfläche deckt.

Im Anhang J sind die täglichen Maximaltemperaturen im Kollektor für einen mittleren WW-Verbrauch von 240 l/d dargestellt und zeigen:

- dass mit einer Aperturfläche von 2,3 m² keine ausreichenden Temperaturen erreicht werden können und der Speicher nur lauwarm bleibt.
- dass mit 4,6 m² und 6,9 m² Temperaturen von ca. 50°C und im Juni bis August/September einige Spitzentemperaturen von über 100°C erreicht werden. Die optimale Auslegung wird zwischen diesen beiden Flächen eher im oberen Bereich liegen.
- dass mit 9,2m² die Anlage sehr oft in den Stagnationsbetrieb gefahren wird, was sich negativ auf die Lebensdauer der Anlage auswirkt.

Für nachfolgende Berechnungen der Energiemengen wurden aus dem Nomogramm für eine Aperturfläche von 6,0 m² und dem täglichen Warmwasserverbrauch die spezifischen solaren Erträge (SE) ermittelt und die solaren Erträge errechnet. Diese betragen für einen Warmwasserverbrauch mit 45°C:

von 160 l/d:	420 kWh/m ² a x 6 m ²	= 2.520 kWh/a
von 240 l/d:	500 kWh/m ² a x 6 m ²	= 3.000 kWh/a
von 360 l/d:	600 kWh/m ² a x 6 m ²	= 3.600 kWh/a

Der solare Deckungsgrad aus dem Nomogramm wird für die vorliegende Arbeit nicht verwendet, da in diesem auch die Wärmeverluste des Speichers und der Verteilleitung enthalten sind und diese aus der Simulationsrechnung nicht nachvollziehbar sind.

Die **Wärmeverluste des Solarspeichers** mit 300 l Inhalt sind entsprechend der Formel [5.4. und 5.9.]

$$Q_{V,SP} = (0,2 + 0,03 \cdot 300^{0,7}) \cdot 365 = \mathbf{666 \text{ kWh/a}}$$

und die **Wärmeverluste der Warmwasserverteilung** sind entsprechend der Formel [5.5] und [5.7.] mit **464 kWh/a** berechnet und werden unabhängig vom Warmwasserverbrauch als konstant angenommen.

Berechnung der elektrischen Hilfsenergien:

Solarpumpe:

- elektr. Leistung: ca. 40 W
- jährliche Betriebszeit: ca. 2.000 h/a (entspricht ca. den Sonnenstunden)
- elektr. Energiebedarf: 80 kWh/a

Für unterschiedliche Warmwasserbedarfe ändern sich auch die solaren Erträge und damit auch der elektr. Energiebedarf der Solarpumpe, was in nachfolgenden Berechnungen jedoch vernachlässigt wird.

Steuer- und Regelanlage:

- elektr. Leistung: ca. 3 W
- jährliche Betriebszeit: 8.760 h/a
- elektr. Energiebedarf: 26 kWh/a

Jährlicher elektr. Hilfsenergiebedarf (80kWh/a + 26kWh/a):

106 kWh/a

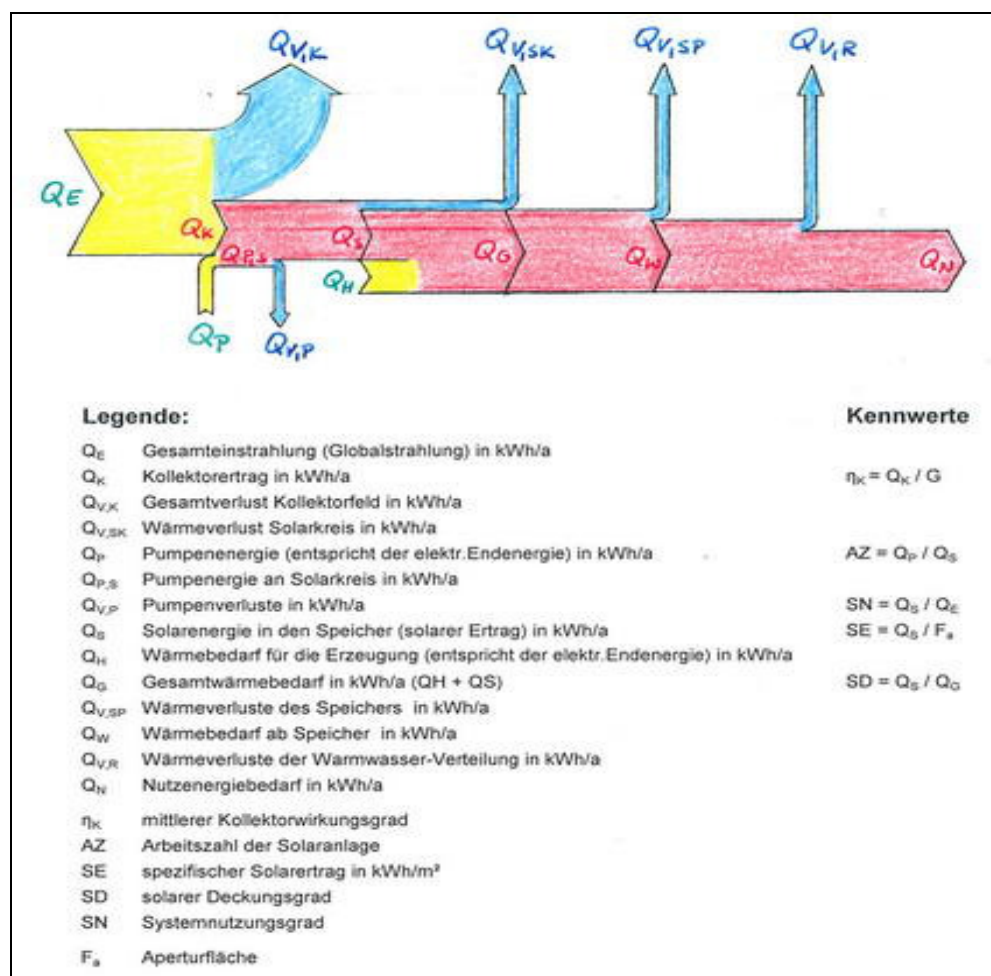


Abbildung 29: Energieflussschema einer solarunterstützten TWE-Anlage

In Abbildung 29 werden die Energiemengen in einem Energieflussdiagramm dargestellt. In Tabelle 5 werden die Energiemengen für unterschiedliche Warmwasserbedarfe (gering, mittel, hoch) zusammengefasst.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Energiemengen der solarunterstützten TWE

Bezeichnung der Energie		Symbol	Berechnung über Werte aus Zeile	Energiemenge in kWh/a abhängig vom täglichen WW-Bedarf mit 45 °C		
				160 l/d	240 l/d	360 l/d
1	Nutzenergiebedarf	Q_N		2.371	3.557	5.335
2	Wärmeverluste - WW-Verteilleitungen	$Q_{V,R}$		464	464	464
3	Wärmeverluste - Speicher	$Q_{V,SP}$		666	666	666
4	Gesamt-Wärmebedarf	Q_G	1+2+3	3.501	4.685	6.465
5	Solarer Ertrag an den Speicher	Q_S		2.520	3.000	3.600
6	Elektr. Heizenergie (Endenergie)	Q_H	4-5	981	1.685	2.865
7	Elektr. Hilfsenergie (Endenergie)	Q_P		106	...106	106

Kaltwassertemperatur +10 °C

5.4 Gegenüberstellung der Energieaufwände (Energieeinsparung)

In den nachfolgenden Tabellen sind die Energiemengen für die weiterführenden Berechnungen, abhängig von den unterschiedlichen Warmwasserbedarfen, zusammengestellt und die Einsparungen an elektrischer Endenergie berechnet.

Tabelle 6: Einsparung an elektrischer Endenergie mit WW-Bedarf 160 l/d

Bezeichnung der Energie		Symbol	Berechnung über Werte aus Zeile	Energiemengen in kWh/a abhängig vom täglichen WW-Bedarf mit 45 °C	
				solar unterstützte TWE	elektr. beheizte TWE
1	Nutzenergiebedarf	Q_N		2.371	2.371
2	Wärmeverluste WW-Verteilleitungen	$Q_{V,R}$		464	464
3	Wärmeverluste Speicher	$Q_{V,SP}$		666	518
4	Gesamt-Wärmebedarf	Q_G	1+2+3	3.501	3.353
5	Solarer Energieertrag an den Speicher	Q_S		2.520	-
6	Elektr. Heizenergie (Endenergie)	Q_H	4-5	981	3.353
7	Elektr. Hilfsenergie (Endenergie)	Q_P		106	-
8	Elektr. Endenergie - Gesamt	Q_e		1.087	3.353
9	Einsparung an elektr. Endenergie	ΔQ_e		2.266	

Tabelle 7: Einsparung an elektrischer Endenergie mit WW-Bedarf 240 l/d

Bezeichnung der Energie		Symbol	Berechnung über Werte aus Zeile	Energienmengen in kWh/a abhängig vom täglichen WW-Bedarf mit 45 °C	
				solar unterstützte TWE	elektr. beheizte TWE
1	Nutzenergiebedarf	Q_N		3.557	3.557
2	Wärmeverluste WW-Verteilungen	$Q_{V,R}$		464	464
3	Wärmeverluste Speicher	$Q_{V,SP}$		666	518
4	Gesamt-Wärmebedarf	Q_G	1+2+3	4.687	4.539
5	Solarer Energieertrag an den Speicher	Q_S		3.000	-
6	Elektr. Heizenergie (Endenergie)	Q_H	4-5	1.687	4.539
7	Elektr. Hilfsenergie (Endenergie)	Q_P		106	-
8	Elektr. Endenergie - Gesamt	Q_e		1.793	4.539
9	Einsparung an elektr. Endenergie	ΔQ_e		2.746	

Tabelle 8: Einsparung an elektrischer Endenergie mit WW-Bedarf 360 l/d

Bezeichnung der Energie		Symbol	Berechnung über Werte aus Zeile	Energienmengen in kWh/a abhängig vom täglichen WW-Bedarf mit 45 °C	
				solar unterstützte TWE	elektr. beheizte TWE
1	Nutzenergiebedarf	Q_N		5.335	5.335
2	Wärmeverluste WW-Verteilungen	$Q_{V,R}$		464	464
3	Wärmeverluste Speicher	$Q_{V,SP}$		666	518
4	Gesamt-Wärmebedarf	Q_G	1+2+3	6.465	6.317
5	Solarer Energieertrag an den Speicher	Q_S		3.600	-
6	Elektr. Heizenergie (Endenergie)	Q_H	4-5	2.865	6.317
7	Elektr. Hilfsenergie (Endenergie)	Q_P		106	-
8	Elektr. Endenergie - Gesamt	Q_e		2.971	6.317
9	Einsparung an elektr. Endenergie	ΔQ_e		3.346	

Nachfolgend sind die jährlichen Einsparungen an elektrischer Endenergie ΔQ_E , abhängig vom täglichen Warmwasserbedarf zusammengestellt und dienen als Grundlage für die , weiteren Berechnungen:

- für 160 l/d : **2.266 kWh/a**
- für 240 l/d : **2.746 kWh/a**
- für 360 l/d : **3.346 kWh/a**

6. Kostenberechnung der TWE-Anlagen

6.1 Anschaffungskosten/-auszahlungen

Grundlage der Kostenermittlung sind vier Angebote, welche von regionalen Installationsfirmen eingeholt wurden.

Es wurde über eine fiktive Solaranlage zur Trinkwassererwärmung (entsprechend Abb. 26) ein Leistungsverzeichnis mit Massen- und Materialspezifikation erstellt und an regionale Firmen mit der Bitte um Anbotlegung versandt. Im Anhang K ist das Ergebnis der Angebotseinholungen mit den Mittelwerten der Einheits- und Positionspreise der vier Angebote beigelegt. Die Differenz zwischen dem billigsten und dem teuersten Angebot lag bei ca. 9%.

In Tabelle 9 sind die Anlagenkosten, gegliedert nach Materialkosten und Montagekosten für den Einbau in ein bestehendes Einfamilienhaus (nachfolgend als „Altbau“ bezeichnet), zusammengestellt.

Tabelle 9: Kosten einer Solaranlage zur TWE im Altbau

Anlagenkomponenten	Angebot	Anteil
	EURO	%
Flachkollektor inkl. Montage	2.020,00	16,9
Solarspeicher 300 Liter	1.190,00	9,9
Solarkreislauf	1.560,60	13,0
Trinkwasseranschluss	1.996,00	16,7
Solarregelung	420,20	3,5
Sonstiges, bauliches	1.110,00	9,3
Montage	1.680,00	14,0
Angebotssumme - Netto	9.976,80	83,3
Mehrwertsteuer 20%	1.995,36	16,7
Angebotssumme inkl. MWSt.	11.972,16	100,0

Aus den Angebotspreisen ist ersichtlich, dass ein großer Anteil auf den trinkwasserseitigen Anschluss mit der Wasserenthärtung entfällt, was auf die regional bedingte Trinkwasserqualität (Karbonathärte von 10,5 ÷ 14°dH) zurückzuführen ist (siehe dazu Kap. 2.4.2 Tabelle 1 und Anhang A).

Nachfolgend werden die effektiven Kosten einer Solaranlage für den Einbau in einen Altbau, sowie in einen Neubau ermittelt.

Für den Altbau wird angenommen, dass der Einbau der Solaranlage im Zuge der Sanierung der bestehenden Trinkwassererwärmungsanlage - bestehend aus einem 200-Liter-Elektrospeicher - durchgeführt wird.

Die Kosten für die Erneuerung der bestehenden TWE-Anlage in Höhe von € 1.836,- (siehe Tabelle 10) können von der Angebotssumme von € 11.972,- abgezogen werden. Die **effektiven Kosten** für die Solaranlage zur TWE im Altbau betragen somit **€ 10.136,-**.

Tabelle 10: Kosten für die Erneuerung einer elektrisch beheizten TWE

Anlagenkomponenten	Angebot
	EURO
Elektro-Standspeicher 200 Liter inkl. Elektro - Heizpatrone	1.080,00
Montage inkl. Demontage und Entsorgung des Altmaterials	450,00
Angebotssumme - Netto	1.530,00
Mehrwertsteuer 20%	306,00
Angebotssumme inkl. MWSt.	1.836,00

Für einen Neubau sind die Kosten einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung in Tabelle 11 zusammengestellt. Im Neubau können bauliche Kosten, wie auch Montagekosten, geringer bewertet werden.

Tabelle 11: Kosten einer Solaranlage zur TWE im Neubau

Anlagenkomponenten	Angebot	Anteil
	EURO	%
Flachkollektor inkl. Montage	2.020,00	19,7
Solarspeicher 300 Liter	1.190,00	11,6
Solarkreislauf	1.560,00	15,2
Trinkwasseranschluss	1.996,00	19,5
Solarregelung	420,20	4,1
Sonstiges, bauliches	90,00	0,9
Montage	1.260,00	12,3
Summe - Netto	8.536,20	83,3
Mehrwertsteuer 20%	1.707,24	16,7
Summe inkl. MWSt.	10.243,44	100,0

Die Verteilung der Gesamtkosten für eine Solaranlage im Neubau sind in Abb. 30 dargestellt.

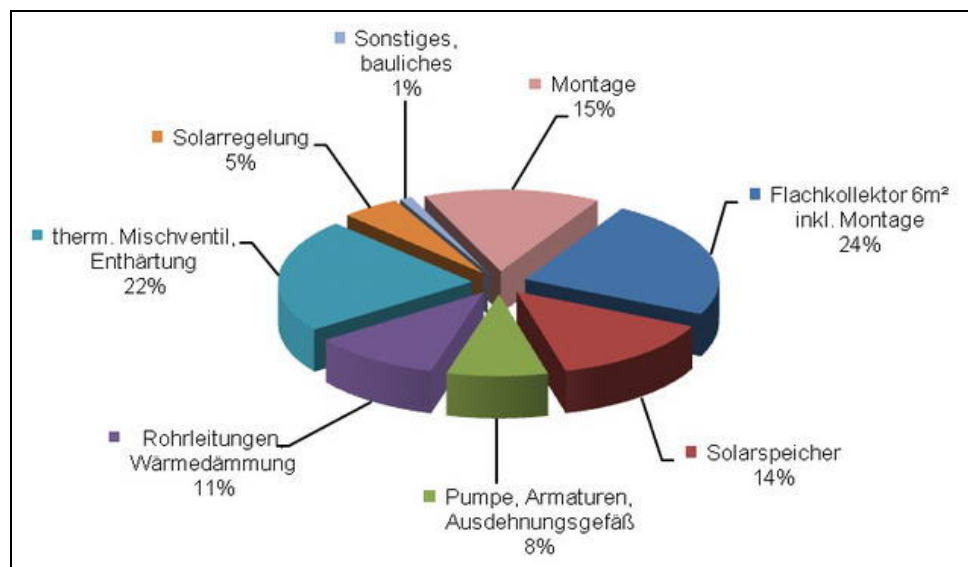


Abbildung 30: Verteilung der Gesamtkosten für eine Solaranlage im Neubau

Die effektiven Kosten für eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung (TWE) im Neubau setzen sich aus folgenden Beträgen zusammen:

- Kosten der Solaranlage (Tabelle 11)	€	10.244,-	(ger.)
- Kosteneinsparung an Dacheindeckung von ca. 7 m²	€	– 504,-	
- Elektrisch beheizte TWE (Sowieso-Kosten ¹²⁴)	€	– 1.656,-	
Effektive Kosten	€	8.084,-	

Die Systemkosten, bezogen auf 1m² Aperturfläche, betragen demnach ca. € 1.350,- im Neubau.

Weiters können die Investitionsförderbeträge (E_F) unter Erfüllung der Förderungsvoraussetzungen (siehe Anhang D) von den effektiven Kosten in Abzug gebracht werden. Diese betragen für eine Aperturfläche von 6,0 m² in Summe € 1.550,- (siehe nachfolgende Aufstellung).

¹²⁴ siehe Tabelle 10, Montageanteil jedoch ohne Demontage- und Entsorgungskosten von ca. € 180,-

Förderung der Stadt Graz:

$$100,- \text{ €/m}^2 \times 6,0 \text{ m}^2 = \text{€} \quad 600,-$$

Landesförderung:

$$50,- \text{ €/m}^2 \times 6,0 \text{ m}^2 = \text{€} \quad 300,-$$

$$\text{Sockelbetrag} = \text{€} \quad 300,-$$

$$\text{für Pumpe, Effizienzklasse A} = \text{€} \quad 50,-$$

Bundesförderung:

Im Wege der Einkommenssteuererklärung wird

$$\text{folgender Betrag berücksichtigt (vgl. Kap. 3.2.)} = \text{€} \quad 300,-$$

In den nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird unter Berücksichtigung der Investitionsförderung mit folgenden Anschaffungskosten / zahlungen A_0 gerechnet:

Für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

$$\text{im ALTBAU mit:} \quad \text{€} \quad 8.586,-$$

$$\text{im NEUBAU mit:} \quad \text{€} \quad 6.534,-$$

6.2 Berechnung der mittleren jährlichen Zahlungen¹²⁵

6.2.1 Kapitalgebundene Zahlungen

Ausgangspunkt für die Ermittlung der kapitalgebundenen Zahlungen sind die Anschaffungskosten A_0 , welche für den Einbau einer Solaranlage zur TWE

im ALTBAU: – € 8.586,-

im NEUBAU: – € 6.534,-

betragen:

Darüber hinaus gehören zu den periodisch auszusetzenden kapitalgebundenen Zahlungen auch die periodisch zu leistenden Instandsetzungszahlungen A_K .

Für die Berechnung der mittleren jährlichen Instandsetzungszahlungen werden die effektiven Kosten der Solaranlage im Neubau (ohne Berücksichtigung der Investitionsförderbeträge) herangezogen und mit dem Instandsetzungsfaktor f_K nach folgender Formel berechnet:

¹²⁵ In den nachfolgenden Berechnungen werden sämtliche Auszahlungen als negative Werte und Einzahlungen als positive Werte dargestellt.

$$A_K = -f_K \cdot |(A_0 - E_F)| \quad \text{in €/a} \quad [6.1]$$

A_K *Instandsetzungszahlung in €/a*

A_0 *Anschaffungskosten in €*

E_F *Investitionsförderbetrag in €*

f_K *mittlerer jährlicher Instandsetzungsfaktor in %/a (geschätzt ca. 1,0%/a, bezogen auf die Gesamtanlage, in Anlehnung an ÖNORM und VDI, Tabelle 12)*

$$A_K = -0,010 \cdot |(-6.534 - 1.550)| = -80,- \text{ €/a (gerundet)}$$

6.2.2 Verbrauchsgebundene Zahlungen

Die verbrauchsgebundenen Zahlungen A_V ermitteln sich aus dem Jahres-Energieverbrauch (elektrische Energie), sowie sonstiger Betriebsstoffverbräuche (Frostschutzmittel, Regeneriersalz für die Enthärtungsanlage etc.).

Elektrische Energie:

Mit dem Einbau der Solaranlage erreicht man Auszahlungseinsparungen, die als fiktive Einzahlungen E_e angesetzt werden können. Die Einsparung an elektrischer Endenergie ΔQ_e (aus den Tabellen 5 bis 7) werden mit dem elektrischen Energiepreis k_e von 18,3 Cent/kWh (vgl. Kapitel 3.3.) für die unterschiedlichen Warmwasser (WW)-Bedarfe berechnet.

$$E_e = \Delta Q_e \cdot k_e \quad \text{in €/a} \quad [6.2]$$

E_e *jährliche fiktive Einzahlung durch Einsparung an elektr. Energie in €/a*

ΔQ_e *Einsparung an elektrischer Endenergie in €*

k_e *elektrischer Energiepreis in €/kWh*

Die jährlichen verbrauchsgebundenen Zahlungen für elektrische Energie $A_{V,E}$ betragen

für einen WW-Bedarf 160 l/d: + 415,- €/a

für einen WW-Bedarf 240 l/d: + 503,- €/a

für einen WW-Bedarf 360 l/d: + 612,- €/a

Frostschutzmittel:

Es wird angenommen, dass jährlich ca. 1 kg Frostschutzmittel zu ersetzen ist. Das entspricht einem Austausch der gesamten Frostschutzfüllung 1 x pro 10 Jahren.

Die mittleren jährlichen Auszahlungen für Frostschutzmittel A_{VF} betragen demnach ca. 4,0 €/a, unabhängig vom jährlichen WW-Bedarf.

Regeneriersalz für die Enthärtungsanlage:

Der jährliche Salzverbrauch beträgt ca. 50 kg bei einem WW-Verbrauch von ca. 240 l/d. Der Preis von 1 kg Salz beträgt ca. 0,5 €. Daraus ergeben sich für unterschiedliche Warmwasser-Bedarfe die jährlichen Auszahlungen für Regeneriersalz A_{VS} in folgender Höhe:

für einen WW-Verbrauch von 160 l/d:	17,- €/a
für einen WW-Verbrauch von 240 l/d:	25,- €/a
für einen WW-Verbrauch von 360 l/d:	38,- €/a

Der Wasserverbrauch beim Regenerieren der Harzflaschen wird vernachlässigt.

6.2.3 Betriebsgebundene Zahlungen

Die betriebsgebundenen Zahlungen A_B bestehen aus Teilzahlungen für folgende Tätigkeiten:

- Bedienung
- Reinigung
- Wartung, Inspektion
- Kundendienst

und werden als prozentualer Anteil der effektiven Kosten (ohne Berücksichtigung der Förderbeträge) nach folgender Formel berechnet:

$$A_B = - f_B \cdot | (A_0 - E_F) | \quad \text{in €/a} \quad [6.3]$$

A_B *betriebsgebundene Zahlungen*

f_B *mittlerer jährlicher Faktor für betriebsgebundene Zahlungen in €/a*

(geschätzt ca. 0,5%/a bezogen auf die Gesamtanlage, in Anlehnung an ÖNORM und VDI, Tabelle 12)

$$A_B = - 0,005 \cdot | (-6.534 - 1.550) | = - 40,- \text{ €/a (gerundet)}$$

Neben einer gelegentlichen Kontrolle der Instrumente fallen bei Solaranlagen nur wenig Wartungsarbeiten an. Wenn Wasser nachgefüllt werden muss, ist auch die Frostschutzkonzentration zu überprüfen. Laut Herstellerempfehlung ist diese alle 2 Jahre mit einem einfachen Test des pH-Wertes durchzuführen. Die bei der Wartung durchgeführten Tätigkeiten sollten notiert und die überprüften Anlagendaten in einem Wartungsprotokoll (siehe Anhang M) festgehalten werden.

Tabelle 12: Richtwerte für Nutzungsdauer, Instandhaltung und Preissteigerungsraten

Anlagenkomponente	Önorm M 7140-5		VDI 2067-1			
	Nutzungs- dauer	Instand- haltung ¹⁾	Rechn. Nutzungs- dauer	Instand- setzung ¹⁾	Wartung ¹⁾	Bedienung
	Jahre	%/a	Jahre	%/a	%/a	h/a
Sonnenkollektor	15	3	20	0,5	0,5	5
Pumpe	15	3	10	2,0	-	-
Armaturen	20	3	20	1,5	-	-
Ausdehnungsgefäß	k.A.	k.A.	15	-	0,5	-
WW - Speicher	15	3	15	2,0	0,5	-
Rohrleitungen	20	3	30	0,5	-	-
Wärmedämmung	20	3	20	1,0	-	-
Wasseraufbereitung	15	5	15	1,0	1,0	1
Regelung	15	4	15	1,5	1,0	-

1) in Prozent der Investitionssumme pro Jahr und Komponente
k.A. keine Angabe

6.3 Zusammenstellung der Kosten

Nachfolgend sind für die weiterführenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sämtliche Zahlungen für eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung in Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 13: Zusammenstellung der Kosten/Zahlungen

Zahlungen	Symbol	Einheit	Kosten abhängig vom tägl. WW - Bedarf mit 45°C		
			160 l/d	240 l/d	360 l/d
Kapitalgebundene Zahlungen					
Anschaffungsauszahlung im Altbau	A_0	€	-8.586		
Anschaffungsauszahlung im Neubau	A_0	€	-6.533		
Instandsetzungszahlungen	A_K	€/a	-80	-80	-80
Verbrauchsgebundene Zahlungen	A_V	€/a			
Elektrische Energie	E_e	€/a	415	503	612
Frostschutz, Salz	$A_{V,FS}$	€/a	-21	-29	-42
Betriebsgebundene Zahlungen	A_B	€/a			
Wartung, Bedienung, Kundendienst	A_B	€/a	-40	-40	-40

7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

7.1 Betriebswirtschaftliche Betrachtung

Es wird davon ausgegangen, dass der private Betreiber eine betriebswirtschaftlich rentable Anlage führen möchte. Er möchte also unter Berücksichtigung der Anschaffungskosten, der Betriebskosten, der Kapitalverzinsung und der Inflation zumindest am Ende der Laufzeit der Solaranlage keine Verluste haben.

7.1.1 Statische Amortisationsmethode

Die statische Amortisationszeit t_a wird nach der Formel [4.1.]

$$t_a = \frac{A_o}{\ddot{U}}$$

berechnet. Dazu sind vorerst die jährlichen Überschüsse nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\ddot{U} = E_e - A_K - A_{V,F,S} - A_B \quad \text{in €/a} \quad [7.1.]$$

\ddot{U} *jährlicher Überschuss (jährl. Einsparung) in €/a*

A_K *Instandsetzungszahlung in €/a*

E_e *fiktive Einzahlung, durch Einsparung an elektr. Energie in €/a*

$A_{V,FS}$ *verbrauchsgebundene Zahlung, Frostschutz u. Regeneriersalz in €/a*

A_B *betriebsgebundene Zahlung f. Wartung, Bedienung, etc. in €/a*

Folgende jährliche Überschüsse errechnen sich abhängig vom täglichen WW-Bedarf:

$$\text{für 160 l/d :} \quad \ddot{U}_{160} = 415 - 80 - 21 - 40 = 274, - \text{ €/a}$$

$$\text{für 240 l/d :} \quad \ddot{U}_{240} = 503 - 80 - 29 - 40 = 354, - \text{ €/a}$$

$$\text{für 360 l/d :} \quad \ddot{U}_{360} = 612 - 80 - 42 - 40 = 450, - \text{ €/a}$$

In nachfolgender Tabelle sind die Amortisationszeiten abhängig vom täglichen WW-Bedarf für den Einbau der Solaranlage im Altbau und im Neubau berechnet.

Mit den in Tabelle 14 berechneten Amortisationszeiten wurde überprüft, nach welcher Zeit die Summe der jährlichen Einsparungen den Anschaffungskosten entsprechen.

Die statische Amortisationsrechnung ist bezüglich der Risikoabschätzung sinnvoll. Je länger die Amortisationszeit, desto größer ist die Gefahr, dass die erwarteten Rückflüsse aufgrund unvorhergesehener Ereignisse nicht erreicht werden.

Tabelle 14: Statische Amortisationszeiten abhängig vom täglichen WW-Bedarf

Benennung	Symbol	Einheit	tägl. WW - Bedarf mit 45°C		
			160 l/d	240 l/d	360 l/d
Anschaffungsauszahlung im Altbau	A ₀	€	-8.586		
Anschaffungsauszahlung im Neubau	A ₀	€	-6.534		
jährlicher Überschuß	Ü	€/a	274	354	450
statische Amortisationszeiten					
für Solaranlage im Altbau	t _a	Jahre	31	24	19
für Solaranlage im Neubau	t _a	Jahre	24	18	15

Die errechnete Amortisationszeit ist mit der, stets subjektiv vom Investor festgesetzten, maximal zulässigen Amortisationszeit zu vergleichen.

In der Broschüre Solarwärme 2020¹²⁶ werden bei der Bestandssanierung im Einfamilienhaus für die dynamisch ermittelte Amortisationszeit 15 Jahre empfohlen. Mit der Begründung dass 15 Jahre aufgrund einfacher Entscheidungsstrukturen im Einfamilienhaus und entsprechender Medienarbeit als Impuls ausreichen.

Die Amortisationszeiten bewegen sich für eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung abhängig vom Einbau in Alt- oder Neubau und je nach Warmwasserbedarf zwischen 15 und 31 Jahren.

Ergebnis:

Eine Vorteilhaftigkeit der Investition in eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung ist auf Basis der statischen Amortisationsrechnung nicht gegeben.

7.1.2 Kapitalwertmethode

Eine Solaranlage besteht aus mehreren Komponenten mit unterschiedlicher Nutzungsdauer. Im konkreten Fall sind gemäß Tabelle 12 einzelne Komponenten mit einer Nutzungsdauer von 15 Jahren bzw. 20 Jahren angegeben. Hierzu sind die Anschaffungsauszahlungen der Komponenten mit der Nutzungsdauer von 20 Jahren - als Barwert einer preisdynamischen Zahlungsfolge - auf den gemeinsamen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren anzupassen.

In Tabelle 15 und 16 sind die effektiven Kosten (abzüglich Förderbeträge) und die Nutzungsdauer geordnet und aufsummiert. Die effektiven Kosten dienen als Basis für die Berechnung der Barwerte bzw. Ersatzwerte.

¹²⁶ Vgl. Solarwärme 2020; Eine Technologie- und Umsetzungsroadmap für Österreich, 2008, Link: <http://www.aee-intec.at/Uploads/dateien646.pdf>, S. 52 eingesehen am 3.6.2010

Die Bestimmung des Kapitalwertes C_0 wurde in Anlehnung an das Berechnungsblatt der VDI 6025 durchgeführt.

Für die Berechnung wurden folgende Parameter berücksichtigt:

Betrachtungszeitraum T 15 Jahre (siehe Kap. 4.1.1.3)

Kalkulationszinssatz i 4 %/a (siehe Kap. 4.1.1.4)

Preisänderungssatz für Anlagen 3 %/a (siehe Kap. 4.1.1.3)

Preisänderungssatz für elektr. Energie 3 %/a (siehe Kap. 4.1.1.3)

Die Barwertfaktoren wurden nach Formel 4.11 bzw. 4.12 berechnet.

Tabelle 15: effektive Kosten der Anlagenkomponenten (Altbau), nach Nutzungsdauer geordnet

Anlagenkomponenten	Angebotspreise	Kostenanteil	effektive Kostenanteile abzgl. Förderung geteilt nach Nutzungsdauer der Anlagen	
			15 Jahre ¹⁾	20 Jahre ¹⁾
	EURO	%	EURO	EURO
Flachkollektoren 6m ² inkl. Montage	2.020,00	20,2		1.738,41
Solarspeicher 300 Liter	1.190,00	11,9		1.024,11
Pumpe, Armaturen, Ausdehnungsgefäß	719,00	7,2	618,77	
Rohrleitungen, Wärmedämmung	915,60	9,2		787,96
therm. Mischventil, Enthärtung	1.922,00	19,3	1.654,07	
Solarregelung	420,20	4,2		361,62
Sonstiges, bauliches	1.110,00	11,1		955,26
Montage	1.680,00	16,8	608,33	837,47
Anschaffungsauszahlung			2.881,17	5.704,83
			8.586,00	

¹⁾ die Nutzungsdauer wurde nach Tabelle 12 gem. VDI gewählt

Tabelle 16: effektive Kosten der Anlagenkomponenten (Neubau), nach Nutzungsdauer geordnet

Anlagenkomponenten	Angebotspreise	Kostenanteil	effektive Kostenanteile abzgl. Förderung geteilt nach Nutzungsdauer der Anlagen	
			15 Jahre ¹⁾	20 Jahre ¹⁾
	EURO	%	EURO	EURO
Flachkollektoren 6m ² inkl. Montage	2.020,00	23,7		1.546,09
Solarspeicher 300 Liter	1.190,00	13,9		910,82
Pumpe, Armaturen, Ausdehnungsgefäß	719,00	8,4	550,32	
Rohrleitungen, Wärmedämmung	915,60	10,7		700,79
therm. Mischventil, Enthärtung	1.922,00	22,5	1.471,08	
Solarregelung	420,20	4,9		321,62
Sonstiges, bauliches	90,00	1,1		68,89
Montage	1.260,00	14,8	484,51	479,89
Anschaffungsauszahlung			2.505,91	4.028,09
			6.534,00	

¹⁾ die Nutzungsdauer wurde nach Tabelle 12 gem. VDI gewählt

In den Tabellen 17 bis 22 wurden die Kapitalwerte für den Einbau einer Solaranlage einmal in einen Altbau und einmal in einen Neubau, sowie mit unterschiedlichen täglichen WW-Bedarfen berechnet.

Tabelle 17: Berechnung des kapitalwertes (Altbau, 160 l/d)

T = 15 Jahre i = 4 %/a Auszahlungen negativer Wert Einzahlungen positiver Wert		Symbol	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Barwertfaktor		auf T angepaßter Barwert
j	T _j					b(T, q, i)	b(T _j , q, i)	
			€	%/a	Jahre	-	-	€
Einmalig	Kapitalgebundene Zahlungen							
	Anschaffungsauszahlung 15J	A ₀	-2.881	3	15	13,492	13,492	-2.881
	Anschaffungsauszahlung 20J	A ₀	-5.705	3	20	13,492	17,571	-4.381
Wiederkehrend	Instandsetzungszahlung	A _K	-80	3		13,492	1	-1.079
	Verbrauchsgeb. Zahlungen	A _V						
	Elektrische Energie	A _{V,E}	415	3		13,492	1	5.599
	Frostschutz, Salz	A _{V,FS}	-21	3		13,492	1	-283
	Betriebsgebundene Zahlungen	A _B						
	Wartung, Bedienung, Kundendienst	A _B	-40	3		13,492	1	-540
Kapitalwert der Jahresgesamtzahlungen C₀								-3.565

Tabelle 18: Berechnung des Kapitalwertes (Altbau, 240 l/d)

T = 15 Jahre i = 4 %/a Auszahlungen negativer Wert Einzahlungen positiver Wert		Symbol	Zahlungs betrag	Preisände rungssatz	Nutzungs dauer	Barwertfaktor		auf T angepaßter Barwert
			€	%/a	Jahre	b(T,q,r)	b(T _n ,q,r)	€
Einmalig	Kapitalgebundene Zahlungen							
	Anschaffungsauszahlung 15J	A ₀	-2.881	3	15	13,492	13,492	-2.881
	Anschaffungsauszahlung 20J	A ₀	-5.705	3	20	13,492	17,571	-4.381
Wiederkehrend	Instandsetzungszahlung	A _K	-80	3		13,492	1	-1.079
	Verbrauchsgeb. Zahlungen	A _V						
	Elektrische Energie	A _{V,E}	503	3		13,492	1	6.786
	Frostschutz, Salz	A _{V,FS}	-29	3		13,492	1	-391
	Betriebsgebundene Zahlungen	A _B						
	Wartung, Bedienung, Kundendienst	A _B	-40	3		13,492	1	-540
	Kapitalwert der Jahresgesamtzahlungen C₀							

Tabelle 19: Berechnung des Kapitalwertes (Altbau, 360 l/d)

$T = 15 \text{ Jahre}$ $i = 4\% / a$ Auszahlungen negativer Wert Einzahlungen positiver Wert		Symbol	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Barwertfaktor		auf T angepaßter Barwert
			€	%/a	Jahre	$b(T, q, r)$	$b(T_n, q, r)$	€
Einmalig	Kapitalgebundene Zahlungen							
	Anschaffungsauszahlung 15J	A_0	-2.881	3	15	13,492	13,492	-2.881
	Anschaffungsauszahlung 20J	A_0	-5.705	3	20	13,492	17,571	-4.381
Wiederkehrend	Instandsetzungszahlung	A_K	-80	3		13,492	1	-1.079
	Verbrauchsgeb. Zahlungen	A_V						
	Elektrische Energie	$A_{V,E}$	612	3		13,492	1	8.257
	Frostschutz, Salz	$A_{V,FS}$	-42	3		13,492	1	-567
	Betriebsgebundene Zahlungen	A_B						
	Wartung, Bedienung, Kundendienst	A_B	-40	3		13,492	1	-540
Kapitalwert der Jahresgesamtzahlungen C_0								-1.190

Zusammenstellung der berechneten Kapitalwerte:

Altbau mit WW-Bedarf:	160 l/d	→	$C_0 = - 3.565$
	240 l/d	→	$C_0 = - 2.485$
	360 l/d	→	$C_0 = - 1.190$
Neubau mit WW-Bedarf:	160 l/d	→	$C_0 = - 1.902$
	240 l/d	→	$C_0 = - 823$
	360 l/d	→	$C_0 = + 472$

Ergebnis:

Eine Wirtschaftlichkeit der Investition ist nur bei der Variante Neubau mit hohem WW-Bedarf gegeben. Der wirtschaftliche Gewinn nach 15 Jahren beträgt € 472,-. Bei allen anderen Varianten ist die Investition mit Verlusten behaftet.

7.1.3 Annuitätsmethode

Die Annuitätsmethode wurde analog zur Kapitalwertmethode durchgeführt. Die Zahlungen sind auch hier wieder ihrer zeitlichen Anforderungsweise in einmalige und wiederkehrende (sogenannte laufende) Zahlungen unterteilt.

Für jene Anlagenkomponenten, deren Nutzungsdauer über den Betrachtungszeitraum hinausreicht, wurde der Restwert ermittelt.

Der Annuitätsfaktor, der preisdynamische Annuitätsfaktor und der Restwertfaktor wurden nach den Formeln 4.14. bis 4.18. berechnet. Die Berechnungsparameter wurden wie in Kapitel 7.1.2 gewählt, und die effektiven Kosten der Anlagenkomponenten - geordnet nach Nutzungsdauer - sind aus Tabelle 15 und 16 entnommen.

Das Berechnungsformular wurde in Anlehnung an das Berechnungsblatt der VDI erstellt.

In den Tabelle 23 bis 28 wurde die Gesamtannuität aller Zahlungen für den Einbau einer Solaranlage in einen Altbau, als auch in einen Neubau für unterschiedliche tägliche Warmwasser-Bedarfe berechnet.

Tabelle 26: Berechnung der Annuität (Altbau 160 l/d)

T = 15 Jahre i = 4 %/a Auszahlungen negativer Wert Einzahlungen positiver Wert		Symbol	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Annuitätsfaktor	Restwertfaktor	preisdyn. Annuitätsfaktor	Annuität der Zahlung
			j	T_N	$a(q, T)$	$R(q, T, TN)$	ba		
			€, €/a	%/a	Jahre	-	-	-	€
Einmalig	Kapitalgebundene Zahlungen								
	Anschaffungsauszahlung 15J	A_0	-2.881	3	15	0,090	0,000	-	-259
	Anschaffungsauszahlung 20J	A_0	-5.705	3	20	0,090	0,139	-	-442
Wiederkehrend	Instandsetzungszahlung	A_K	-80	3				1,213	-97
	Verbrauchsgeb. Zahlungen	A_V							
	Elektrische Energie	$A_{V,E}$	415	3				1,213	503
	Frostschutz, Salz	$A_{V,FS}$	-21	3				1,213	-25
	Betriebsgebundene Zahlungen	A_B							
	Wartung, Bedienung, Kundendienst	A_B	-40	3				1,213	-49
Gesamtannuität aller Zahlungen									-369

Tabelle 27: Berechnung der Annuität (Altbau 240 l/d)

T = 15 Jahre i = 4 %/a Auszahlungen negativer Wert Einzahlungen positiver Wert		Symbol	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Annuitätsfaktor	Restwertfaktor	preisdyn. Annuitätsfaktor	Annuität der Zahlung
			€, €/a	%/a	Jahre	-	-	-	€
Einmalig	Kapitalgebundene Zahlungen								
	Anschaffungsauszahlung 15J	A_0	-2.881	3	15	0,090	0,000	-	-259
	Anschaffungsauszahlung 20J	A_0	-5.705	3	20	0,090	0,139	-	-442
Wiederkehrend	Instandsetzungszahlung	A_K	-80	3				1,213	-97
	Verbrauchsgeb. Zahlungen	A_V							
	Elektrische Energie	$A_{V,E}$	503	3				1,213	610
	Frostschutz, Salz	$A_{V,FS}$	-29	3				1,213	-35
	Betriebsgebundene Zahlungen	A_B							
	Wartung, Bedienung, Kundendienst	A_B	-40	3				1,213	-49
Gesamtannuität aller Zahlungen									-272

Tabelle 28: Berechnung der Annuität (Altbau 360 l/d)

$T = 15 \text{ Jahre}$ $i = 4 \text{ \%/a}$ Auszahlungen negativer Wert Einzahlungen positiver Wert		Symbol	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Annuitätsfaktor	Restwertfaktor	preisdyn. Annuitätsfaktor	Annuität der Zahlung
			€, €/a	%/a	Jahre	-	-	-	€
Einmalig	Kapitalgebundene Zahlungen								
	Anschaffungsauszahlung 15J	A_0	-2.881	3	15	0,090	0,000	-	-259
	Anschaffungsauszahlung 20J	A_0	-5.705	3	20	0,090	0,139	-	-442
Wiederkehrend	Instandsetzungszahlung	A_K	-80	3				1,213	-97
	Verbrauchsgeb. Zahlungen	A_V							
	Elektrische Energie	$A_{V,E}$	612	3				1,213	742
	Frostschutz, Salz	$A_{V,PS}$	-42	3				1,213	-51
	Betriebsgebundene Zahlungen	A_B							
	Wartung, Bedienung, Kundendienst	A_B	-40	3				1,213	-49
Gesamtannuität aller Zahlungen									-156

Zusammenstellung der berechneten Annuitäten:

Altbau mit WW-Bedarf:	160 l/d	→	$d = - 369 \text{ €}$
	240 l/d	→	$d = - 272 \text{ €}$
	360 l/d	→	$d = - 156 \text{ €}$
Neubau mit WW-Bedarf:	160 l/d	→	$d = - 205 \text{ €}$
	240 l/d	→	$d = - 108 \text{ €}$
	360 l/d	→	$d = + 8 \text{ €}$

Ergebnis:

Eine Wirtschaftlichkeit ist analog der Kapitalwertmethode nur bei der Variante Neubau mit hohem WW-Bedarf gegeben ($d > 0$).

Ermittlung der solaren Wärmegestehungskosten k_{sol} :

Der direkte Vergleich der solaren Wärmegestehungskosten (€/kWh) mit den Kosten der elektr. Energie ergibt die Kosteneinsparung oder Kostenmehrbelastung für den Betreiber¹²⁷. Damit die beiden Kosten vergleichbar werden sind zu den berechneten Annuitäten der Auszahlungen (Tabelle 23 - 28), noch die verbrauchsgebundenen Zahlungen der Hilfsenergie für die Solarpumpe sowie für die Regelungsanlage hinzuzurechnen. Die Hilfsenergie wurde in der Annuitätsrechnung der eingesparten elektr. Energie gegenge-rechnet und ist in den fiktiven Einzahlungen berücksichtigt.

Berechnung der Annuität der verbrauchsgebundenen Zahlung für die Hilfsenergie nach folgender Formel:

$$d_v = Q_P \cdot k_e \cdot ba \quad [7.2]$$

d_v Annuität der verbrauchsgebundenen Zahlungen in €/a

Q_P elektr. Hilfsenergie = 106 kWh/a (aus Tabelle 6 - 8)

k_e elektrischer Energiepreis = 18,3 Cent/kWh

ba preisdynamischer Annuitätsfaktor = 1,213

$$d_v = 106 \cdot 18,3 \cdot 1,213 = 23,5 \text{ €/a}$$

¹²⁷ Vgl. VDI 6002-1: Kap. 5.2, S. 64

In Tabelle 29 sind die solaren Wärmegegestehungskosten berechnet und können nun mit dem elektr. Energiepreis, welcher noch mit dem preisdynamischen Annuitätsfaktor angepasst werden muss, verglichen werden.

Tabelle 29: Ermittlung der solaren Wärmegegestehungskosten

Einbau der Solaranlage	WW-Bedarf	Annuität der Auszahlungen	zuzügl. Annuität der verbr. Zahlungen	Gesamte Annuität	solar erzeugte Wärme Q_s	Wärmepreis k_{SOL}
		Tab.23 - 28			aus Tab. 5	
	l/d	€/a	€/a	€/a	kWh/a	Cent/kWh
Altbau	160	872	23,5	895,5	2.520	35,54
	240	882	23,5	905,5	3.000	30,18
	360	898	23,5	921,5	3.600	25,60
Neubau	160	708	23,5	731,5	2.520	29,03
	240	718	23,5	741,5	3.000	24,72
	360	734	23,5	757,5	3.600	21,04

$$k_e^* = k_e \cdot ba \quad [7.3]$$

k_e^* preisdynamisch angepasster Strompreis in €/kWh

$$k_e^* = 18,3 \cdot 1,213 = \quad \mathbf{22,20 \text{ Cent/kWh}}$$

Der preisdynamisch angepasste Strompreis von 22,2 Cent/kWh kann nun mit dem solaren Wärmegegestehungspreis (in Tabelle 29) verglichen werden.

Ergebnis:

Der Vergleich mit dem solaren Wärmegegestehungspreis zeigt ebenfalls, dass nur bei der Variante Neubau mit hohem WW-Bedarf eine Kosteneinsparung erzielt werden kann.

7.1.4 Interne Zinsfußmethode

Für die Berechnung wurde die modifiziert-interne Zinsfußmethode nach VDI 6025¹²⁸ gewählt (siehe Kapitel 4.1.3.3). Dieser modifiziert-interne Zinssatz i_M gibt die Rentabilität des eingesetzten Kapitals A_0 an und wird mit dem Kalkulationszinssatz i verglichen.

Die Berechnungsparameter wurden gleich wie bei den dynamischen Rechenmethoden davor gewählt.

¹²⁸ Vgl. VDI 6025, Kap. 6.2: S. 48ff

In den Tabellen 30 bis 35 wurde der modifiziert-interne Zinsfuß für den Einbau einer Solaranlage in einen Altbau als auch in einen Neubau für unterschiedliche tägliche Warmwasser-Bedarfe berechnet.

Tabelle 30: Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Altbau 160l/d)

T = 15 Jahre i = 4 %/a Ifd. Auszahlungen negativer Wert Ifd. Einzahlungen positiver Wert	Einheit	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Restwertfaktor	preisdyn. Endwertfaktor	Rest- und Endwerte
		€ , €/a	%/a	Jahre	-	-	€
Restwert für Komponenten TN>T							
Anschaffungskosten	€	5.705	3	20	0,250	-	1.428
Endwerte der Ifd. Zahlungen							
Instandsetzungszahlung	€/a	-80	3			24,300	-1.944
Verbrauchsgeb. Zahlungen							
Elektrische Energie	€/a	415	3			24,300	10.085
Frostschutz, Salz	€/a	-21	3			24,300	-510
Betriebsgebundene Zahlungen							
Wartung, Bedienung, Kundendienst	€/a	-40	3			24,300	-972
Endwertsumme K_E in €							8.086
Anschaffungsauszahlung A₀ in €							8.586
modifiziert-interner Zinsfuß i_M in %							-0,4

Tabelle 31: Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Altbau 240l/d)

$T = 15 \text{ Jahre}$ $i = 4 \% / a$ lfd. Auszahlungen negativer Wert lfd. Einzahlungen positiver Wert	Einheit	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Restwertfaktor	preisindex Endwertfaktor	Rest- und Endwerte
		€ , €/a	%/a	Jahre	$R_{(T, T_0)}$	be	€
Restwert für Komponenten $T_N > T$							
Anschaffungskosten	€	5.705	3	20	0,250	-	1.428
Endwerte der lfd. Zahlungen							
Instandsetzungszahlung	€/a	-80	3			24,300	-1.944
Verbrauchsgeb. Zahlungen							
Elektrische Energie	€/a	503	3			24,300	12.223
Frostschutz, Salz	€/a	-29	3			24,300	-705
Betriebsgebundene Zahlungen							
Wartung, Bedienung, Kundendienst	€/a	-40	3			24,300	-972
Endwertsumme K_E in €							10.030
Anschaffungsauszahlung A_0 in €							8.586
modifiziert-interner Zinsfuß i_M in %							1,0

Tabelle 32: Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Altbau 360l/d)

$T = 15 \text{ Jahre}$ $i = 4\% / a$ lfd. Auszahlungen negativer Wert lfd. Einzahlungen positiver Wert	Einheit	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Restwertfaktor	preisig. Endwertfaktor	Rest- und Endwerte
		€ , €/a	%/a	Jahre		be	€
Restwert für Komponenten $T_N > T$							
Anschaffungskosten	€	5.705	3	20	0,250	-	1.428
Endwerte der lfd. Zahlungen							
Instandsetzungszahlung	€/a	-80	3			24,300	-1.944
Verbrauchsgeb. Zahlungen							
Elektrische Energie	€/a	612	3			24,300	14.872
Frostschutz, Salz	€/a	-42	3			24,300	-1.021
Betriebsgebundene Zahlungen							
Wartung, Bedienung, Kundendienst	€/a	-40	3			24,300	-972
Endwertsumme K_E in €							12.363
Anschaffungsauszahlung A_0 in €							8.586
modifiziert-interner Zinsfuß I_M in %							2,5

Tabelle 33: Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Neubau 160l/d)

$T = 15 \text{ Jahre}$ $i = 4 \% / a$ lfd. Auszahlungen negativer Wert lfd. Einzahlungen positiver Wert	Einheit	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Restwertfaktor	präsen. Endwertfaktor	Rest- und Endwerte
		€, €/a	%/a	Jahre	-	-	€
Restwert für Komponenten $TN > T$							
Anschaffungskosten	€	4.028	3	20	0,250	-	1.008
Endwerte der lfd. Zahlungen							
Instandsetzungszahlung	€/a	-80	3			24,300	-1.944
Verbrauchsgeb. Zahlungen							
Elektrische Energie	€/a	415	3			24,300	10.085
Frostschutz, Salz	€/a	-21	3			24,300	-510
Betriebsgebundene Zahlungen							
Wartung, Bedienung, Kundendienst	€/a	-40	3			24,300	-972
Endwertsumme K_E in €							7.667
Anschaffungsauszahlung A_0 in €							6.534
modifiziert-interner Zinsfuß i_M in %							1,1

Tabelle 34: Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Neubau 240l/d)

$T = 15 \text{ Jahre}$ $i = 4\% / a$ Ifd. Auszahlungen negativer Wert Ifd. Einzahlungen positiver Wert	Einheit	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Restwertfaktor	prestdyn. Endwertfaktor	Rest- und Endwerte
		€, €/a	%/a	Jahre	-	-	€
Restwert für Komponenten $T_N > T$							
Anschaffungskosten	€	4.028	3	20	0,250	-	1.008
Endwerte der Ifd. Zahlungen							
Instandsetzungszahlung	€/a	-80	3			24,300	-1.944
Verbrauchsgeb. Zahlungen							
Elektrische Energie	€/a	503	3			24,300	12.223
Frostschutz, Salz	€/a	-29	3			24,300	-705
Betriebsgebundene Zahlungen							
Wartung, Bedienung, Kundendienst	€/a	-40	3			24,300	-972
Endwertsumme K_E in €							9.611
Anschaffungsauszahlung A_0 in €							6.534
modifiziert-internaler Zinsfuß i_M in %							2,6

Tabelle 35: Berechnung des modifiziert-internen Zinsfußes (Neubau 360I/d)

$T = 15 \text{ Jahre}$ $i = 4 \% / a$ lfd. Auszahlungen negativer Wert lfd. Einzahlungen positiver Wert	Einheit	Zahlungsbetrag	Preisänderungssatz	Nutzungsdauer	Restwertfaktor	präsen. Endwertfaktor	Rest- und Endwerte
		€, €/a	%/a	Jahre	-	-	€
Restwert für Komponenten $T_N > T$							
Anschaffungskosten	€	4.028	3	20	0,250	-	1.008
Endwerte der lfd. Zahlungen							
Instandsetzungszahlung	€/a	-80	3			24,300	-1.944
Verbrauchsgeb. Zahlungen							
Elektrische Energie	€/a	612	3			24,300	14.872
Frostschutz, Salz	€/a	-42	3			24,300	-1.021
Betriebsgebundene Zahlungen							
Wartung, Bedienung, Kundendienst	€/a	-40	3			24,300	-972
Endwertsumme K_E in €							11.943
Anschaffungsauszahlung A_0 in €							6.534
modifiziert-internaler Zinsfuß i_M in %							4,1

Zusammenstellung der berechneten modifiziert-internen Zinsfüße:

Altbau mit WW-Bedarf:	160 l/d	→	$i_M = -0,4\% < i$
	240 l/d	→	$i_M = +1,0\% < i$
	360 l/d	→	$i_M = +2,6\% < i$
Neubau mit WW-Bedarf:	160 l/d	→	$i_M = +1,1\% < i$
	240 l/d	→	$i_M = +2,6\% < i$
	360 l/d	→	$i_M = +4,1\% > i$

Ergebnis:

Eine Vorteilhaftigkeit ist analog der Kapitalwertmethode als auch der Annuitätenmethode nur bei der Variante Neubau mit hohem WW-Bedarf gegeben ($i_M = 4,1\% > i = 4,0\%$).

7.1.5 Dynamische Amortisationsrechnung

Die Amortisationsdauer ist, wie schon in Kapitel 7.1.1 beschrieben, eine wesentliche Kenngröße zur Beschreibung des Risikos und der Liquiditätsauswirkungen von Investitionen.

Die dynamische Amortisationsdauer t_{ad} als Kapitalrückflusszeit ist der Zeitraum, in welchem der Kapitalwert C_0 den Wert Null erreicht.¹²⁹

Im Fall der preisdynamischen Zahlungsfolge ist die Ermittlung der dynamischen Amortisationszeit nur mit dem Newtonschen Näherungsverfahren möglich.

In vorliegender Arbeit wurde die Ermittlung der dynamischen Amortisationszeit graphisch nur für den Neubau gelöst. Es wurden Mehrfachrechnungen mit unterschiedlich angenommener Nutzungsdauer durchgeführt und in Abbildung 31 dargestellt. Die Berechnungsparameter wurden wie in Kapitel 7.1.2 – Kapitalwertmethode, gewählt.

Aus Abbildung 31 ist ersichtlich, dass die dynamischen Amortisationszeiten je nach WW-Bedarf zwischen 16 und 28 Jahren liegen.

Ergebnis:

Auch auf Basis der dynamischen Amortisationsrechnung ist die Investition in eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung wirtschaftlich nicht sinnvoll.

¹²⁹ Vgl. VDI 6025, Kap. 7; S. 60

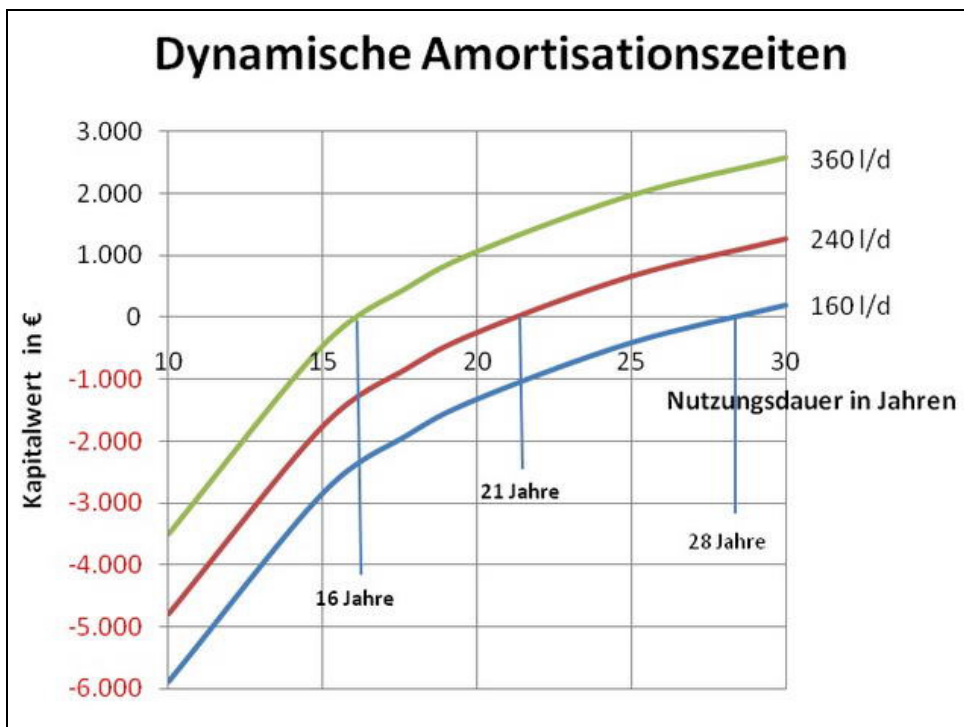


Abbildung 31: graphische Ermittlung der dynamischen Amortisationszeiten (Neubau)

7.1.6 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse wurde wegen des rechnerischen Aufwandes auf die Kapitalwertmethode sowie für den Einbau der Solaranlage in einen Neubau mit mittleren Warmwasserverbrauch von 240 l/d beschränkt.

In der nachfolgenden Analyse soll bestimmt werden, wie weit ein Parameter in der Formel [4.3] sowie [4.7] verändert werden muss, um die Wirtschaftlichkeitsgrenze (das ist die Schwelle $C_0 = 0$) zu erreichen. Der Parameter an dieser Stelle wird kritisch (sensitiv) genannt¹³⁰.

Für folgende Sensitivitätsgrößen wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt:

- dem Kalkulationszinssatz
- der Strompreisänderungsrate
- den Anschaffungsauszahlungen/-kosten

In vorliegender Arbeit wurde die Bestimmung der kritischen (sensitiven) Parameter graphisch gelöst.

¹³⁰ Vgl. VDI 6025 Pkt. 4.6, S.32

Dazu wurden mit dem Rechenprogramm „Excel“ Mehrfachrechnungen durchgeführt und aus den Ergebnissen, die in Abbildung 32 bis 34 dargestellten Diagramme generiert. Bei Veränderung eines Parameters blieben alle anderen Parameter unverändert.

Der kritische (sensitive) Kalkulationszinssatz i^* muss von 4%/a auf 2,25%/a gesenkt werden, um die Wirtschaftlichkeitsgrenze zu erreichen.

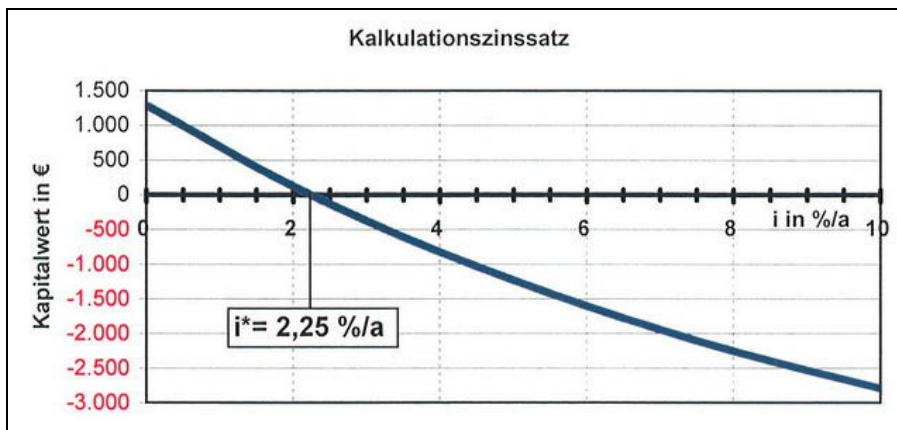


Abbildung 32: Einfluss Kalkulationszinssatz auf die Wirtschaftlichkeit (240 l/d)

Wird der Strompreis jährlich um 4,75% - statt angenommen 3% - erhöht, beginnt die Investition vorteilhaft zu werden.

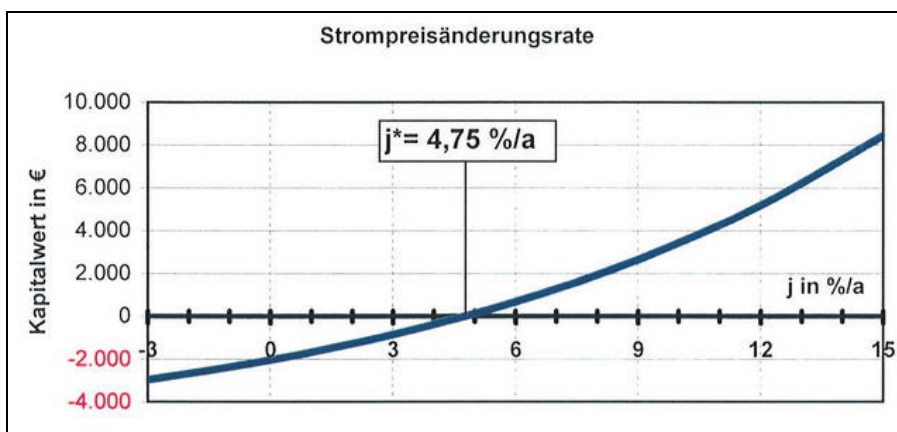


Abbildung 33: Einfluss der Strompreisänderungsraten auf die Wirtschaftlichkeit (240 l/d)

Werden die effektiven Anschaffungskosten von € 6.534,- um 15% (siehe Abbildung 34) gesenkt (dies entspricht ~€ 980,-), wird ebenfalls die Wirtschaftlichkeitsgrenze erreicht. Diese Reduktion der Kosten kann zum Beispiel erreicht werden, wenn die Fördergelder von Stadt und Land von derzeit € 1.250,- auf € 2.230,- aufgestockt werden, oder auch durch Verhandlungsgeschick bei Vergabe der Arbeiten, wobei ein Nachlass von ca. 10% (auf den Angebotspreis von € 10.244,-) auszuverhandeln wäre.

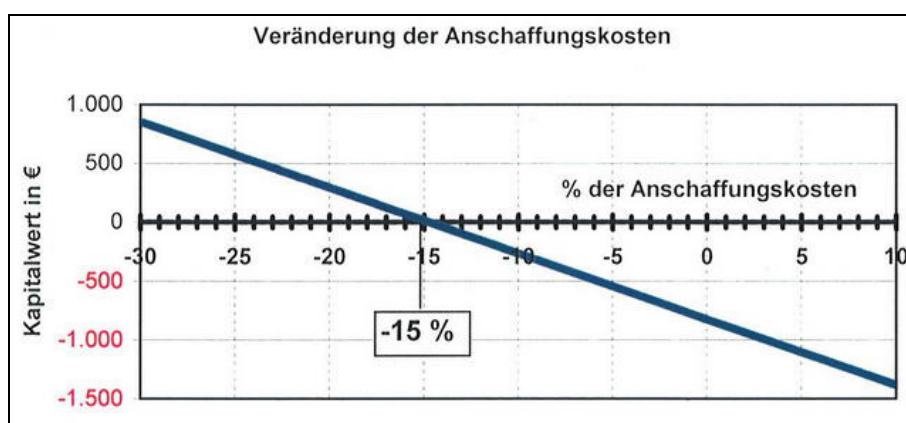


Abbildung 34: Einfluss der Anschaffungskosten auf die Wirtschaftlichkeit (240 l/d)

7.2 Energetische Betrachtung

Die nachfolgenden Berechnungen wurden modellhaft für eine Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit 6 m² Aperturfläche, einem mittleren Warmwasser-Bedarf von 240 l/d und für einen Betrachtungszeitraum von 15 bis 20 Jahren durchgeführt.

7.2.1 Primärenergieaufwand

Der ungefähre Primärenergieaufwand bei der Produktion und Herstellung der Solaranlagen ist in Tabelle 36 und 37 berechnet. Der Primärenergieverbrauch für die Herstellung von Aluminiumblech und Kupfer wurde aus Quelle 1¹³¹ und der Primärenergieverbrauch für die Herstellung der anderen Materialien aus Quelle 2¹³² entnommen.

¹³¹ Quelle 1: Forum I Nachhaltiges Bauen; <http://www.nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/aluminium>, eingesehen am 22.7.2010

¹³² Quelle 2: Feurich, Hugo: Sanitärtechnik, Band 2; 9.Auflage, Düsseldorf 2005, S.7.10

Tabelle 36: Energieaufwand für die Herstellung von Sonnenkollektoren

Material	Gewicht ¹⁾	Primärenergie-Verbrauch		Bemerkung
	kg/m ²	kWh/kg	kWh/m ²	
Aluminium	3,26	58,3	190,1	bei 0% Recyclatanteil
Kupfer	4,20	31,4	131,9	bei 40% Recyclatanteil
PU-Schaum	2,39	19,0	45,3	
Steinwolle	1,12	5,0	5,6	
GKF	0,22	29,0	6,5	
Gummi	0,36	19,0	6,8	
Glas	8,51	6,0	51,1	
Summen	20,06	167,7	437,3	

1) bezogen auf Aperturfläche

Tabelle 37: Energieaufwand für die Herstellung einer 6 m² Solaranlage

Anlagenkomponenten	Menge	Einheit	Dichte	Primärenergie-Verbrauch		
			kg/m	kWh/kg	kWh/m ²	kWh
Kupferrohr d22x1mm	30	m	0,59	31,4		556
Rohrisolierung	30	m	0,26	19,0		148
Speicher 200 auf 300 Liter ¹⁾	50	kg		9,2		460
Speicherisolierung	20	kg		19,0		380
Sonnenkollektor	6	m ²			437,3	2.624
Zwischensumme						4.168
für Armaturen, Pumpe, Regelung und Sonstiges ca.					40%	1.667
für Verarbeitung und Transport ca.					10%	417
ca. Primärenergieaufwand						6.252

1) Mehraufwand vom 200 Liter "Sowieso" Speicher auf 300 Liter Solarspeicher

Der Primärenergieaufwand für Armaturen, Pumpe, Regelung und Sonstiges sowie für Verarbeitung und Transport wurde als Prozentsatz aus der Summe Kollektoren, Speicher und Rohre angesetzt (eigene Schätzung).

Der Primärenergieaufwand für die Produktion und Herstellung einer 6 m² Solaranlage zur Trinkwassererwärmung beträgt demnach ca. 6.252 kWh_{Pe}.

Der Primärenergieaufwand für den Betrieb der Solaranlage setzt sich aus der Hilfsenergie (Endenergie) für die Solarpumpe und der Regelung, multipliziert mit dem PE-Faktor für elektrischen Strom, zusammen.

Die Hilfsenergie (Endenergie) beträgt 106 kWh/a (siehe Tabelle 7), der PE-Faktor 1,12 kWh_{Pe}/kW_{ee} (siehe Kapitel 4.2).

Damit errechnet sich ein Primärenergieaufwand für den Betrieb der Solaranlage von 1.780 kWh_{Pe} in 15 Jahren und 2.373 kWh_{Pe} in 20 Jahren.

Der Primärenergieaufwand für den Abbau und die Entsorgung der Solaranlage wurde als Prozentsatz des Primärenergieaufwandes für die Herstellung mit ca. 20% geschätzt. Altkollektoren werden derzeit überwiegend als Sperrmüll entsorgt. Aufgrund des hohen Anteils an Metall und Glas bietet sich eine stoffliche Verwertung an. Das Metallgehäuse und der Absorber können dem Altmetallrecycling zugeführt werden, die Glasabdeckung der Altglasverwertung. Für die Gummiabdichtungen und Isoliermaterialien gibt es derzeit keine sinnvolle Wiederverwertung.

Tabelle 38: Primärenergieeinsatz der Solaranlage über einen Zeitraum von 15 bis 20 Jahren

Primärenergie	15 Jahre		20 Jahre		Energieträger
	kWh	Anteil	kWh	Anteil	
Sonneneinstrahlung	120.000	93,0%	160.000	94,4%	Erneuerbar
Herstellungsaufwand	6.252	4,8%	6.252	3,7%	Nicht erneuerbar
Betriebsaufwand (Strom)	1.780	1,4%	2.373	1,4%	Nicht erneuerbar
Abbau und Entsorgung	950	0,7%	950	0,6%	Nicht erneuerbar
Gesamter Energieeinsatz	128.982	100,0%	169.575	100,0%	

Die Sonneneinstrahlung wurde aus dem spez. Solarertrag (SE) von 500 kWh/m² und einem Systemnutzungsgrad (SN) von 37,5% aus Abbildung 28 mit ca. 120.000 kWh in 15 Jahren und 160.000 kWh in 20 Jahren berechnet.

In Tabelle 38 sind die Primärenergiemengen über einen Zeitraum von 15 und 20 Jahren zusammengestellt. Der Anteil der nicht erneuerbaren Energie macht im Mittel ca. 6 % aus, während ca. 94 % durch die Sonne geliefert werden.

Nachfolgend wird der Primärenergieeinsatz für die Trinkwassererwärmung im Vergleich zwischen solar unterstützter Trinkwassererwärmung und monovalent elektrisch beheizter Trinkwassererwärmung über einen Zeitraum von 15 Jahren betrachtet.

Tabelle 39: Primärenergieeinsatz für die TWE über einen Zeitraum von 15 Jahren

Primärenergie	solarunterstützte TWE		elektrisch beheizte TWE		Energieträger
	kWh	Anteil	kWh	Anteil	
Sonneneinstrahlung	120.000	76,3%		0,0%	Erneuerbar
Herstellungsaufwand	6.252	4,0%		0,0%	Nicht erneuerbar
Betriebsaufwand (Strom)	1.780	1,1%		0,0%	Nicht erneuerbar
Heizenergie (Strom)	28.341	18,0%	76.255	100,0%	Nicht erneuerbar
Abbau und Entsorgung	950	0,6%		0,0%	Nicht erneuerbar
Summe nicht Erneuerbare	37.323	23,7%	76.255	100,0%	Nicht erneuerbar
Gesamter Energieeinsatz	157.323	100,0%	76.255	100,0%	

In Tabelle 39 sind die Primärenergien Mengen zusammengestellt. Der Vergleich zwischen beiden Systemen zeigt, dass mit der solar unterstützten Trinkwassererwärmung ca. 51 % (d.s. 38.932 kWh) an nicht erneuerbarer Energie eingespart werden können.

7.2.2 Energetische Amortisationszeit von Solaranlagen

Der Primärenergieaufwand für Produktion und Herstellung wurde im vorigen Kapitel mit 6.252 kWh_{pe} berechnet.

Der Solarertrag Q_s ergibt sich bei 6 m² Aperturfläche und einem spezifischen Solarertrag (SE) von 500 kWh/m² (aus Abbildung 28) mit 3.000 kWh/a.

Vom Solarertrag Q_s ist noch der jährliche Betriebsaufwand für die Solarpumpe und der Regelung im Betrag von 106 kWh/a aus Tabelle 7 (gleiche physikalische Größen) abziehen.

Die **energetische Amortisationszeit** (Energierücklaufzeit) beträgt damit
 $6.252 \text{ kWh} / (3000 - 106) \text{ kWh/a} = \mathbf{2,2 \text{ Jahre}}$.

Wird auch der Primärenergieaufwand für den Abbau und die Entsorgung der Solaranlage in die Berechnung mit einbezogen, verlängert sich die energetische Amortisationszeit nur unwesentlich.

Das bedeutet, dass nach etwa zweieinhalb Jahren der Energieverbrauch für Errichtung und Betrieb der Anlage durch den erzielten solaren Ertrag ausgeglichen ist. Danach beginnt die solare Netto-Ernte bis zum Lebensende der Solaranlage.

7.3 Umweltbezogene Betrachtung

Kenngroße für die umweltbezogene Bewertung von Energiesystemen ist das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂).

Auch hier beziehen sich die nachfolgenden Berechnungen auf einen mittleren Warmwasserbedarf von 240 l/d.

Die Energieaufwände und Einsparungen an elektrischer Energie sind in Kapitel 5 berechnet. Die Einsparung an elektrischer Energie (Endenergie) beträgt 2.746 kWh/a (aus Tabelle 7).

Der CO₂-Faktor beträgt 256 g CO₂/kWh_{ee} (siehe Kapitel 4.3).

Die **vermiedene CO₂-Emission** beträgt demnach
 $2.746 \text{ kWh/a} \times 256 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = \mathbf{703 \text{ kg/a.}}$

Über einen Zeitraum von 15 bis 20 Jahren betrachtet, ergibt dies eine Minderung der Kohlendioxid-Belastung durch den Einbau einer Solaranlage im Mittel von ca. 12,3 Tonnen.

7.4 Volkswirtschaftliche Betrachtung

Der volkswirtschaftliche Nutzen der Solarenergie bleibt in konventionellen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, in denen nur interne Kosten vorkommen, derzeit vollkommen unberücksichtigt. Neben der Einsparung durch sinkenden Rohstoffimporte und weniger Umweltschäden wären zudem Arbeitsplätze gefährdet, deren Verlust zu Folgekosten und Steuerausfällen führen würde.

Mit Hilfe der externen Kosten kann eine betriebswirtschaftliche Bewertung in eine volkswirtschaftliche Bewertung übergeführt werden¹³³.

¹³³ Siehe dazu Kapitel 4.4

Die externen Kostenfaktoren für elektrische Energie betragen zwischen

- minimal 0,0085 €/kWh_{ee} bis
- maximal 0,0135 €/kWh_{ee}

und beruhen nicht auf der tatsächlichen Abschätzung von Umweltschäden und der durch sie verursachten Kosten, sondern rein auf Vermeidungskosten¹³⁴.

Mit der Einsparung an elektrischer Endenergie, berechnet im Kapitel 5 (Tabelle 7) von 2.746 kWh, errechnen sich damit

jährliche Vermeidungskosten zwischen € 24,- und € 50,-.

Das entspricht ca. 0,5% der effektiven Errichtungskosten (siehe Kapitel 6.1).

Die Nutzung der Sonnenenergie für die Trinkwassererwärmung im Einfamilien-Haushalt über einen Zeitraum von 15 bis 20 Jahren spart Schäden an Natur, Gebäuden und Mensch in einem monetären Gegenwert von im Mittel ca. € 700,- ein.

¹³⁴ Vgl. Umweltbundesamt; Emissionsbilanz für die Sun-City Wien, 2001, Kapitel 7.4.4, Link: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/daten/produkte/gemis/suncity.pdf>, eingesehen am 22.07.2010

8. Zusammenfassung

Allgemeines:

Die vorliegende Arbeit soll dazu dienen, einen Überblick über eine elektrisch beheizte und eine solar unterstützte Trinkwassererwärmung am Beispiel einer Kleinanlage zu bekommen. Es werden auch Entscheidungshilfen für eine solarthermische Trinkwassererwärmung im Einfamilien-Haushalt aufgezeigt.

Zu Beginn der Arbeit wurde der aktuelle Stand der Weltenergiesituation, die Zerstörung des natürlichen Treibhauseffektes durch den Einsatz fossiler Energieträger sowie globale, europäische und nationale Maßnahmenprogramme dargestellt, deren gemeinsames Ziel

- die Reduktion von Treibhausgasen,
- die Senkung des Primärenergieverbrauches und
- die Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien

ist.

Die Marktsituation in Österreich zeigt wachsende Verkaufszahlen, was sich durch Förderungsanreize von Stadt, Land und Bund und auch am sensibilisierten Umweltbewusstsein der Bevölkerung bemerkbar macht.

Warmwasserversorgungskonzepte und solarthermische Anlagensysteme in Verbindung mit elektrisch beheizten Trinkwassererwärmern wurden vorgestellt und erläutert.

Beschrieben wurden die wichtigsten Einzelkomponenten der solarthermischen Anlage, wie: der Sonnenkollektor, der Solarkreis, der Speicher und die Solarregelung. Den Schwerpunkt bildete der Sonnenkollektor mit der Definition des Kollektorstufenwirkungsgrades und der Unterscheidung der Kollektorflächen in Brutto-, Apertur- und Absorberflächen.

Planung und Auslegung:

Um optimale Solarerträge zu erzielen, müssen die einzelnen Komponenten gut aufeinander abgestimmt werden. Auf Simulationsprogramme, die Klimadaten, Kollektorkennwerte und eine Vielzahl an Warmwasserversorgungskonzepten berücksichtigen, kann auch im Internet zugegriffen werden. Zu beachten ist, dass die Programme nur so gut wie ihre Algorithmen sind.

Kennzahlen helfen bei der Bewertung von thermischen Solaranlagen. Für die Trinkwassererwärmung im Einfamilienhausbereich werden folgenden Kennzahlen empfohlen:

- der solare Deckungsgrad mit 60 %
- der spezifische Solarertrag mit mindestens 350 kWh/m² und
- der Systemnutzungsgrad mit Werten zwischen 30 und 50 %.

Ein wichtiger Faktor bei der Auslegung einer Solaranlage ist die möglichst genaue Ermittlung des Warmwasserbedarfs. Je nach Gewohnheiten können hier relativ große Unterschiede vorliegen.

Als Referenzhaushalt wurde ein Vier-Personen-Haushalt gewählt.

Um die Auswirkungen verschiedener Warmwasserbedarfe auf die Auslegung und Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen zu erhalten, wurden den Berechnungen unterschiedliche Warmwasserbedarfe zugrundegelegt.

Und zwar für:

- einen niedrigen WW-Bedarf von 160 Liter/Tag
- einen mittleren WW-Bedarf von 240 Liter/Tag
- einen hohen WW-Bedarf von 360 Liter/Tag.

Kostenberechnung:

Die Anschaffungskosten für eine Solaranlage wurden für den Einbau in ein bestehendes Einfamilienhaus (Altbau) und für einen Neubau ermittelt. Am günstigsten ist eine Solaranlage, wenn sie beim Neubau eines Hauses mit eingeplant wird. Die effektiven Anschaffungskosten welche „Sowieso“-Kosten und Förderbeträge berücksichtigen, betragen

- beim Altbau 8.586,- €
- beim Neubau 6.534,- €.

Dabei entfällt ein großer Anteil auf die Trinkwasseraufbereitung, was auf die regional bedingte Karbonathärte zurückzuführen ist.

Als Grundlage für die betriebswirtschaftliche Betrachtung wurden die einmaligen und die wiederkehrenden Zahlungen berechnet.

Die jährlichen fiktiven Einzahlungen (Auszahlungseinsparungen) an elektrischer Energie betragen:

- für 160 l/d: 415 €/a
- für 240 l/d: 503 €/a
- für 360 l/d: 612 €/a.

Die jährlichen Auszahlungen für Instandsetzung, Betriebsstoffverbrauch und den Betrieb der Solaranlage betragen:

- für 160 l/d: 141 €/a
- für 240 l/d: 149 €/a
- für 360 l/d: 162 €/a.

Betriebswirtschaftliche Betrachtung:

Die betriebswirtschaftlichen Berechnungen drücken sich im Verhältnis von Leistung zu Kosten aus. Für eine Solaranlage heißt das, dass der durch den solaren Deckungsgrad erzielte Gewinn die höheren Anschaffungskosten und die zusätzlichen Betriebs- und Instandhaltungskosten zumindest kompensieren muss.

Es wurden statische und dynamische Investitionsrechenverfahren durchgeführt.

Das Ergebnis der statischen Amortisationsrechnung zeigte, dass die Amortisationszeit

- für den Neubau mit WW-Bedarf 360 l/d bei 15 Jahren
- für den Neubau mit WW-Bedarf 240 l/d bei 18 Jahren
- für den Altbau mit WW-Bedarf 360 l/d bei 19 Jahren
- und für alle anderen Varianten bei weit über 20 Jahren liegt.

Die obigen Ergebnisse zeigen folgende Tendenz: je größer der WW-Bedarf, desto kürzer ist die Amortisationszeit.

Die preisdynamischen Berechnungen wurden mit folgenden Parametern durchgeführt:

- Betrachtungszeitraum 15 Jahre
- Kalkulationszinssatz 4 %/a
- Preisänderungssatz 3 %/a (für Anlagen und elektrische Energie)
- Nutzungsdauer diese wurde komponentenbezogen gem. VDI berücksichtigt.

Die dynamische Amortisationsrechnung wurde nur für den Neubau durchgeführt. Die Amortisationszeit liegt bei allen Varianten über 16 Jahre. Die dynamische Amortisationsrechnung brachte also für den konkreten Fall keine neue Erkenntnis gegenüber der statischen Berechnung.

Die festgesetzte maximal zulässige Amortisationszeit von 15 Jahren wird sowohl mit der statischen als auch mit der dynamischen Amortisationsrechnung nicht erreicht.

Die Berechnungen der dynamischen Investitionsrechenverfahren, wie Kapitalwert-, Annuitäts- und interne Zinsfußmethode brachten folgende Ergebnisse.

Bei der Kapitalwertmethode brachte die Variante Neubau mit einem WW-Bedarf von 360 l/d nach 15 Jahren einen wirtschaftlichen Gewinn von € 472,-. Bei allen anderen Varianten ist die Investition mit Verlusten behaftet.

Die Annuitätsmethode als auch die interne Zinsfußmethode brachte erwartungsgemäß das gleiche Ergebnis.

Die Sensitivitätsanalyse, durchgeführt für einen Neubau mit WW-Bedarf 240 l/d, zeigt wie weit einzelne Parameter verändert werden müssen, um die Wirtschaftlichkeitsgrenze zu erreichen.

- Der Kalkulationszinssatz müsste auf 2,25 %/a gesenkt werden,
- der Strompreisänderungssatz müsste auf ca. 4,75 %/a steigen und
- die effektiven Anschaffungskosten müssten um ca. 15 % gesenkt werden.

Es muss beachtet werden, dass Wirtschaftlichkeitsberechnungen nicht immer der Realität entsprechen, sie geben aber Aufschluss darüber, was man beim Betrieb einer Anlage erwarten kann, bzw. erwarten muss. Ein Problem ist auch, dass man die zukünftigen Preisentwicklungen von Solaranlagen, die zukünftige Preisentwicklung von elektrischer Energie oder welche Fördermaßnahmen es in Zukunft geben wird, nie genau weiß. Mit Sicherheit werden infolge Ressourcenverknappung die Kosten der konventionellen Energieträger steigen und damit die regenerativen Energieträger konkurrenzfähig machen.

Ökologische Betrachtung:

Betrachtet man die Solaranlage von der ökologischen Seite, so ist die Bilanz gegenüber der elektrischen Energie eindeutig auf der Seite der Sonnenenergie.

Schlüsselwörter in diesem Zusammenhang sind die energetische Amortisationszeit und die Erntezeit.

Sobald die Solaranlage so viel Energie gespart hat, wie bei der Erstellung und beim Recycling der Anlage anfällt, geht die Amortisationszeit zu Ende. Die restliche Lebenszeit der Anlage wird als Erntezeit bezeichnet¹³⁵. Die energetische Amortisationszeit wurde mit ca. 2,5 Jahren berechnet, und ist relativ gering gegenüber einer realistischen Lebensdauer einer Solaranlage von ca. 20 Jahren. Die Erntezeit ist also dementsprechend hoch.

Leicht ermitteln lässt sich auch mit den im Betrieb der Solaranlage nicht verbrannten fossilen Energieträgern, die eingesparte CO₂-Emission, welche mit ca. 0,7 Tonnen pro Jahr berechnet wurde.

Der volkswirtschaftliche Gewinn steht außer Frage.

Fazit:

Thermische Solaranlagen können wirtschaftlich arbeiten. In der Regel sind dazu Fördermaßnahmen, günstige Ausgangsbedingungen (Einstrahlung, Kollektororientierung, niedrige Investitionskosten) und eine richtig dimensionierte Anlage, angepasst an die Lebensgewohnheiten der Benutzer nötig.

Solaranlagen sollten nicht nach ihrer heutigen Leistung beurteilt werden, sondern vielmehr muss betrachtet werden, wie viel ihre Leistung in Zukunft wert ist. Durch die Verknappung der Ressourcen muss die der Politik auf den Klimawandel reagieren und damit sind Kostensteigerungen der konventionellen Energieträger zu erwarten.

Die Empfehlung für Solaranlagen sollte nicht zu sehr betriebswirtschaftliche Gewinne versprechen, sondern viel mehr auf die ökologischen Vorteile wie z. B. die niedrigen Schadstoffemissionen oder auf die volkswirtschaftlichen Nachteile der herkömmlichen Energieträger hinweisen¹³⁶. Eng damit verbunden ist auch das Nachhaltigkeitsdenken, also das Übergeben einer intakten Umwelt an die nächsten Generationen.

¹³⁵ Vgl. Möller, Lars: Akzeptanz von Solaranlagen, Karlsruhe 1999, http://www.iundm.de/lars/6_Wirtschaftlichkeit.html, eingesehen am 23.7.2010.

¹³⁶ Vgl. Möller, ebenda.

BÜCHER:

Benesch, Thomas; Schuch, Karin: Basiswissen zu Investition und Finanzierung, Wien 2005.

Brugger, Ralph: Der IT Business Case, 2.Auflage, Heidelberg 2009.

Däumler, Klaus-Dieter; Grabe, Jürgen: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, 12.Auflage, Kiel 2007.

Dörsam, Peter: Grundlagen der Investitionsrechnung anschaulich dargestellt, 5.Auflage, Heidelberg 2009.

Eberle, Ulrich: Lernsituation Energie- und Gebäudetechnik, 3.Auflage, Hamburg 2009.

Eichhorn, Peter: Das Prinzip Wirtschaftlichkeit, 3.Auflage, Wiesbaden 2005.

Feurich, Hugo: Sanitärtechnik, Band 2; 9.Auflage, Düsseldorf 2005

Fink, Christian; Riva, Richard: Solarunterstützte Wärmenetze im Geschoßwohnbau, Gleisdorf 2004.

Fresner, Johannes; et al.: Ressourceneffizienz in der Produktion, 2009

Gilli, Paul; Edler, Alois; Halozan, Hermann: Wärmeversorgung von Wohnbauten mit Sonnenenergie, 4.Auflage, Graz 1979.

Hauser, Matthias; Warns, Christian: Grundlagen der Finanzierung anschaulich dargestellt, 4.Auflage, Heidenau 2008.

Haidenbauer, Herbert; Winkelbauer, Gerald: Sanitär- und Klimatechnik – Gas- und Wasserinstallation, Wien 2003.

Hollidt, Andreas; Piel, Andreas H.: Rechnungswesen – Band 1, 3. Auflage, Berlin 2008

Lechner, Karl; Egger, Anton; Schauer, Reinbert: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 23.Auflage, Wien 2006.

Olfert, Klaus; Reichl, Christopher: Investition, 11.Auflage, Hrsg. K. Olfert, Neckargemünd 2009.

Recknagel, Hermann; et al.: Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, 74.Auflage, München 2009.

Wöhe, Günter; et al.: Übungsbuch zur Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 8.Auflage, München 1996.

Zingl, Harry: Investitionsrechnung, Weinheim 2009.

RICHTLINIEN UND NORMEN:

Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinien, L140/16 vom 5.6.2009

DIN 4753 Teil 1: Wassererwärmer und Wassererwärmungsanlagen für Trink- und Betriebswasser, März 1988

DVGW-Regelwerk: Arbeitsblatt W 551

ÖNORM EN 14743: Anlagen zur Behandlung von Trinkwasser innerhalb von Gebäuden – Enthärter – Anforderungen an Ausführung, Sicherheit und Prüfung, 2007-09-01

ÖNORM M 7140: Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode – Begriffsbestimmungen, Rechenverfahren, Wien 2004-11-01.

ÖNORM M 7140 Beiblatt 4: Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode – Berechnungsbeispiele, Wien 2004-11-01.

ÖNORM M 7140 Beiblatt 5: Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode – Richt- und Anhaltswerte für Eingaben, Wien 2004-11-01.

ÖNORM M 7701: Sonnenteknische Anlagen – Näherungsverfahren zur Bemessung von Flachkollektoren in Warmwasser-Aufbereitungsanlagen, Wien 2004-09-01.

ÖNORM M 7701 Beiblatt 2: Sonnenteknische Anlagen – Allgemeine Kennwerte für die Bemessung von passiven Anlagen und von Flachkollektoren in Warmwasser-Aufbereitungsanlagen, Wien 2004-09-01.

Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2067 Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung, Berlin 2000-09.

Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2067 Blatt 12: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung, Berlin 2000-06.

Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2067 Blatt 22: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Anlagen zur Trinkwassererwärmung, Berlin 2005-02.

Verein Deutscher Ingenieure: VDI 6002: Solare Trinkwassererwärmung – Allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnbau, Berlin 2004-09.

Verein Deutscher Ingenieure: VDI 6025: Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen, Berlin 1996-11.

INTERNET:

Baupolitische Leitsätze des Landes Steiermark 2009,

<http://www.biomasseverband.at/static/mediendatenbank/root01/7.%20Publikationen/34%20Prozent%20EE.pdf>

Bundesdenkmalamt <http://www.bda.at/downloads/805/>

Bundesministerium für Finanzen: Das Steuerbuch 2009 – Tipps für die ArbeitnehmerInnenveranlagung 2008 für LohnsteuerzahlerInnen:

[www.bmf.gv.at/Publikationen/Downloads/BroschurenundRatgeber/STB_09_D_WEB\(2\).pdf](http://www.bmf.gv.at/Publikationen/Downloads/BroschurenundRatgeber/STB_09_D_WEB(2).pdf)

Bundesministerium für Finanzen: Ausfüllhilfe zur Einkommensteuererklärung 2009 - Informationen zu den Sonderausgaben, Seite 8, Punkt 60:

<http://formulare.bmf.gv.at/service/formulare/inter-Steuern/pdfd/2009/E2.pdf>

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Energie Strategie Österreich, 2009,

http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf

Datenbank-powerhouse.db, Link: http://www4.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse/db/248,id_38,s_Papers.fb15

Deutsches Kupferinstitut, Informationsdruck i.160, 2006, Link:

http://www.kupferinstitut.de/front_frame/pdf/i160.pdf

E-Control, Tätigkeitsbericht 2009, www.e-control.at/de/publikationen/e-control-taetigkeitsberichte

E-Control, Strompreise in Österreich, http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/strom/dokumente/pdfs/preismonitor_mai_NEU.pdf

Erneuerbare Energie in Österreich: Modellierung möglicher Entwicklungsszenarien bis 2020, www.energiemodell.at/ee.htm

Faninger, Gerhard; 2009, Link: www.aee-intec.at/0uploads/dateien644.pdf

Faninger, Gerhard; Link: www.auto.tuwien.ac.at/~dani/...Faninger/Teil-07_Erneuerbare_Energie.pdf

Forum | Nachhaltiges Bauen; <http://www.nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/aluminium>

Graf, Michael; FH-Burgenland GmbH, Schulungsmodul 2006

http://www.vogelundnoot.com/downloads/Skript_Graf_Teil1.pdf

Graz AG: Trinkwasseranalyse

http://www.grazag.at/de/wasser/service_wasserqualitaet.html

Hansen, Ulf; Manuskript-Energiewirtschaft; Rostock 2008, Link: http://www.fms.uni-rostock.de/ieut/EWI_MANUSKRIPT_Hansen_2008.pdf

Institut für Solarenergieforschung GmbH; Handbuch Wärme von der Sonne, 2001, Link: http://www.nils-isfh.de/Foltext9_Ile.pdf

Klimadaten von Österreich, Link: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm

LandesEnergieVerein Steiermark: Richtlinie für die Direktförderung von thermischen Solaranlagen für die Brauchwassererwärmung und Raumwärmeversorgung durch das Land Steiermark, 2010:

http://www.lea.at/download/Richtlinien2010/RL_therm_Solaranlagen_2010.pdf

LandesEnergieVerein Steiermark, Förderrichtlinien 2010, Gemeindeförderungen (Förderungen der Stadt Graz):

http://www.lev.at/index.asp?S=main/foerderungen/gemfordins.asp&S1=left/left_foerderung.asp&gemnr=60101&ggst2=S&bez=5

Möller, Lars: http://www.iundm.de/lars/6_Wirtschaftlichkeit.html

Steiermärkische Landesregierung: Antrag auf Bewilligung einer Direktförderung von thermischen Solaranlagen durch das Land Steiermark für das Jahr 2010:

http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/dokumente/10098196_2628408/41dc2fe8/Antrag_Solar-Thermisch_Mai2010_100511.pdf

Steiermärkische Landesregierung: Infoblatt über Direktförderung von thermischen Solaranlagen durch das Land Steiermark für das Jahr 2010:

http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/dokumente/10098196_2628408/b70d4201/Infoblatt%20Solaranlagen%202010-03-15.pdf

Stadt Graz Umweltamt: Merkblatt Solarförderung Graz

<http://www.oekostadt.graz.at/cms/beitrag/10023431/1598275/>

Steiermärkisches Baugesetz

http://www.bauordnung.at/oesterreich/steiermark_baugesetz.php

Technische Universität Darmstadt, http://www.intern.tu-darmstadt.de/dez_iv/nachhaltigkeit_2/einfhrung/index.de.jsp

Technische Universität Graz: Wirtschaftlichkeit,

http://www.delta-q.de/cms/de/fuer_studenten/wirtschaftlichkeit.html

Theissing, Matthias; Primärenergiefaktoren und Emissionsfaktoren von Energieträgern, Villach 2010; Link: <http://www.gaswaerme.at/de/pdf/10-1/theissing.pdf>

Technische Universität Graz; Solare Brauchwasserbereitung und Heizung Teil 3, Link: http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i3070/downloads/skripten/Teil3_Brauchwasser_und_Heizung_06.pdf

Umweltbundesamt Österreich:

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/energie/energietraeger/>

Umweltbundesamt Österreich:

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/energie/energietraeger/erneuerbareenergie/>

Umweltbundesamt; Chancen und Grenzen eines Bewertungssystems auf Basis der Primärenergie, Link: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien719.pdf>

Umweltbundesamt; Emissionsbilanz für die Sun-City Wien, 2001

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/daten/produkte/gemis/suncity.pdf>

Wirtschaftsministerium Baden Württemberg; Thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung, 2008, Link:

http://www.solarresearch.org/Solarthermie2006_solarkritik.pdf

BEITRÄGE IN FACHPUBLIKATIONEN:

Albrecht, Stefan; Griebhaber, Wilfried; Kettner Christiane; Meißner, Rolf: Wo sich Spreu und Weizen trennen – Über den Wert von Solarwärme (Teil 3), in: SANITÄR+HEIZUNGSTECHNIK, 8/2008, Seite 46ff

Biermayer, Peter; et al.: Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpen, in: Erneuerbare Energie in Österreich, Marktentwicklung 2008, Link: [Erneuerbare Energie in Österreich - Marktentwicklung 2008](#)

Biermayer, Peter; Weiss, Werner; Glück, Natalie: Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpe in Österreich, in: erneuerbare energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, 02/2009, Link: <http://www.aee.at/index.htm?publikationen/zeitung/verzeichnis.php>

Faninger, Gerhard: Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden, in: erneuerbare energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, 03/2009, Link: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien644.pdf>

Krames, Udalfried: Förderungen von solarthermischen Anlagen in Österreich, in: Gebäude Installation, 06/2009, Seite 28f

Solarwärme 2020: Eine Technologie- und Umsetzungsroadmap für Österreich, Link: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien646.pdf>

Ulz, Gerhard: Die Geschichte der Sonnenenergie in der Steiermark, in: erneuerbare energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, 01/2008, Link: <http://www.aee.at/index.htm?publikationen/zeitung/verzeichnis.php>

Viessmann Werke: Planungshandbuch Solarthermie, 2008

Weiss, Werner: Welchen Beitrag kann die Solarthermie in einem nachhaltigem Energiesystem leisten ?, in: erneuerbare energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, 01/2008, Link: <http://www.aee.at/index.htm?publikationen/zeitung/verzeichnis.php>

V Anhänge

Anhang A: Die wichtigsten Analysewerte des Grazer Trinkwassers

Die wichtigsten Analysewerte des Grazer Trinkwassers aus den Wasserwerken Andritz, Friesach und Hochschwab

Bezeichnung	Einheit	Messergebnisse (Wertebereich)	Parameterwert	Indikator- parameterwert
PH-Wert		7,3 – 7,7		6,5 bis 9,5
Gesamthärte	°dH	15 – 17		
Karbonathärte	°dH	10,5 - 14		
Kalzium	mg/l	75 – 90		
Magnesium	mg/l	12 – 20		
Chlorid	mg/l	4 – 8		200
Nitrat	mg/l	5 – 10	50	
Sulfat	mg/l	30 – 75		250
Fluorid	mg/l	0,03	1,5	
Pestizide	µg/l	nicht nachweisbar	0,1	

Anhang B: Auszug aus der VDI 6002 Blatt 1, Sept. 2004, S.77

Datenblatt für Herstellerangaben zum Kollektor			
Datenblatt Herstellerangaben zum Kollektor			
Angaben zum Typ und zum Prüfinstitut			
Kollektortyp/-bezeichnung			
Bauart	z.B. Flachkollektor		
Hersteller			
Prüfinstitut			
Prüfung nach Norm	z.B. DIN EN 12 975		
Prüfbericht	Nr. und Datum des Prüfberichtes		
Leistungskennwerte (alle Angaben bezogen auf Aperturfläche)			
Merkmal	Formelzeichen	Einheit	typische Werte/Beispiele (bezogen auf Aperturfläche)
Konversionsfaktor bei Temperaturdifferenz ($t_m - t_a$) = 0	η_0	–	0,65 bis 0,84
linearer Kollektorwirkungsgradfaktor	a_1	W/(m ² · K)	1,1 bis 4,0
quadratischer Kollektorwirkungsgradfaktor	a_2	W/(m ² · K ²)	0,01 bis 0,04
Einstrahlungswinkelkorrekturfaktor	$K_\theta(50^\circ)$	–	0,94 bis 0,97
Druckabfallkurve	$\Delta p = a_1 \cdot \dot{m} + a_2 \cdot \dot{m}^2$		(20 °C, Glykol/Wasser = 40/60)
empfohlener Bereich Durchströmung		ℓ/(h · m ²)	
flächenspezifische Wärmekapazität (gefüllt)	c	J/(m ² · K)	5000 bis 40 000
Gehäuse			
Abmessungen (L × B × H)		jeweils mm	
Werkstoff			z.B. Aluminium
Gesamtmasse Kollektor (gefüllt)		kg	
Absorber			
Absorberwerkstoff, Werkstoffdicke Verbindungstechnik zum Rohrregister			z.B. Kupfer usw.
Oberfläche, Beschichtung			z.B. Selektivbeschichtung
Werkstoff Wärmeträgerkanäle			z.B. Kupfer
Wärmeträgerinhalt	V_A	ℓ	z.B. 3 ℓ
Transparente Abdeckung			
Werkstoff, Dicke, eventuell Beschichtung			z.B. ESG, 4 mm, AR-Beschichtung
Wärmedämmung			
Art, Werkstoff			z.B. Dämmplatte, Mineralwolle
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m · K)	
Dicke		mm	
Bezugsflächen			
Bruttofläche	A_G	m ²	
Aperturfläche	A_a	m ²	
wirksame Absorberfläche	A_A	m ²	
Grenzdaten für den Betrieb			
Stillstandtemperatur		°C	Flachkollektor: z.B. 200 °C
zulässiger Betriebsüberdruck		bar ₀	
zulässiger Wärmeträger			Wasser-Glykol-Gemische
Einbauweise			
Arten			Beispiele: Indach, Aufdach, Freiaufstellung, Fassadenmontage

Anhang C: Auszug aus der Broschüre: „Das Steuerbuch 2009“**Sonderausgaben** ^{Rz429-436}*Was sind Sonderausgaben?*

Das Einkommensteuergesetz 1988 zählt bestimmte private Ausgaben auf, die steuerlich begünstigt werden. Sind die aufgezählten Ausgaben gleichzeitig Werbungskosten oder Betriebsausgaben, dann sind sie als solche abzugsfähig. Folgende Sonderausgaben sind teils in unbeschränkter Höhe, teils in begrenztem Umfang abziehbar:

- Bestimmte **Renten** (insbesondere **Leibrenten**) und dauernde Lasten: in unbeschränkter Höhe
- **Freiwillige Weiterversicherung** in der gesetzlichen Pensionsversicherung und **Nachkauf von Versicherungszeiten**, z. B. von Schulzeiten: in unbeschränkter Höhe ^{Rz579}
- Versicherungsprämien für **freiwillige Personenversicherungen**: innerhalb des gemeinsamen Höchstbetrages ^{Rz458-494}
- Beiträge zu **Pflegeversicherungen**, wenn sie den Charakter einer Krankenversicherung oder einer Rentenversicherung ab Eintritt einer Pflegebedürftigkeit haben innerhalb des gemeinsamen Höchstbetrages ^{Rz458a}
- Beiträge zu **Pensionskassen**: innerhalb des gemeinsamen Höchstbetrages ^{Rz458ff}
- **Kosten für Wohnraumschaffung und Wohnraumsanierung**: innerhalb des gemeinsamen Höchstbetrages ^{Rz495-540}
- Ausgaben für **junge Aktien** (einschließlich **Wohnsparaktien** und **Wandelschuldverschreibungen** zur Förderung des Wohnbaus) und für Genussscheine: innerhalb des gemeinsamen Höchstbetrages ^{Rz541-557}
- **Kirchenbeiträge**: 100 € ^{Rz558-560}
- **Steuerberatungskosten**: in unbeschränkter Höhe ^{Rz561-564}

Welche Ausgaben zur Wohnraum-sanierung können als Sonderausgaben berücksichtigt werden? ^{Rz522-530}

Kosten der Sanierung von Wohnraum sind absetzbar, wenn die Arbeiten von der Steuerpflichtigen oder vom Steuerpflichtigen direkt beauftragt und durch befugte Unternehmen durchgeführt wurden. Begünstigt sind sowohl Instandsetzungs- als auch Herstellungsmaßnahmen.

Aufwendungen zur Sanierung von Wohnraum können sowohl von der Eigentümerin und vom Eigentümer, als auch beispielsweise von der Mieterin oder vom Mieter geltend gemacht werden. In diesem Fall muss die Sanierung von der Mieterin und vom Mieter (und nicht von der Vermieterin bzw. vom Vermieter) in Auftrag gegeben worden sein. ^{Rz524}

Instandsetzungsmaßnahmen ^{Rz531-533} sind insbesondere:

- Austausch von Heizungsanlagen (verbesserte Heizleistung, bessere Bedienbarkeit)
- Austausch der Elektro-, Gas-, Wasser- und Heizungsinstallationen
- Einbau von Wärmepumpen, Solar- und Wärmerückgewinnungsanlagen
- Umstellung auf Fernwärme
- Maßnahmen zur Verminderung des Energieverlustes oder -verbrauches
- Nachträglicher Anschluss an Versorgungsnetze (beispielsweise an die Wasser-, Kanal-, Strom- oder Gasversorgung). Darunter fallen sowohl die Aufwendungen für das Herstellen des Anschlusses als auch die Anschlussgebühren. Die Kosten eines Telefonanschlusses sind nicht absetzbar.

Anhang D: Auszug aus der Richtlinie für Direktförderung vom Land Steiermark.

Richtlinie für die Direktförderung von thermischen Solaranlagen für Brauchwassererwärmung und Raumwärmeversorgung

§ 1 Zielsetzung

Ziel der Richtlinie ist die Förderung erneuerbarer Energieträger, die Verringerung von Emissionen und die Ressourcenschonung. Damit soll den im Energieplan 2005 bis 2015 des Landes Steiermark als integrierter Bestandteil des steirischen Regierungsprogramms vorgegebenen Maßnahmen sowie der Energiestrategie 2025 entsprochen und vor allem ein Beitrag zum Klimaschutz im Sinne der im Kyoto-Protokoll und innerhalb der Europäischen Union getroffenen Vereinbarungen zur Reduktion von CO₂-Emissionen und des Klimabündnisses geleistet werden. Darüber hinaus soll dadurch auch die Wertschöpfung in den steirischen Regionen erhöht, die Technologieentwicklung gefördert und ein Beitrag zur Sicherung und Erhöhung der Beschäftigung erreicht werden.

§ 2 Allgemeine Bestimmungen

- (1) Das Land Steiermark gewährt für sein Gebiet als Maßnahme zur Förderung erneuerbarer Energieträger, Verringerung von Emissionen und Schonung von Ressourcen einmalige, nicht rückzahlbare Zuschüsse.
- (2) Zuschüsse können nur bei Vorliegen der in dieser Richtlinie festgelegten Voraussetzungen und nach Maßgabe der finanziellen Möglichkeiten des Landes Steiermark gewährt werden.

§ 3 Förderungswerber/innen

- (1) Um Förderungen für thermische Solaranlagen für Wohnzwecke können ansuchen: Eigentümer/innen, Hauptmieter/innen, Pächter/innen, Wohnungseigentumsverwerber/innen, dinglich Nutzungsberechtigte sowie Wohnbauträger
- (2) Um Förderungen für thermische Solaranlagen können weiters ansuchen: Betreiber/innen von Schulen, Kindergärten, Pflegeheimen sowie öffentlichen Sportanlagen

§ 4 Förderungsvoraussetzungen

- (1) Zuschüsse werden nur gewährt, wenn
 - a) die Anlage entsprechend dem Steiermärkischen Baugesetz errichtet und in Betrieb genommen wurde, sowie sonstigen gesetzlichen Bestimmungen und maßgeblichen Normen entspricht,
 - b) alle zivilrechtlichen Erfordernisse, insbesondere allfällige erforderliche Zustimmungserklärungen zur Errichtung der Anlage erfüllt sind sowie allfällige erforderliche behördliche Bewilligungen für die Errichtung der Anlage durch den Förderungswerber vorliegen,
 - c) die Orientierung der Anlage den örtlichen Voraussetzungen zur optimalen Nutzung der eingestrahelten Sonnenenergie entspricht,
 - d) die Kollektoren der Anlage das AUSTROSOLAR oder ein adäquates Gütesiegel aufweisen,
 - e) der rechnerische Nachweis einer Anlage zur ausschließlichen Warmwasserbereitung einen Mindestenergieertrag von 350 kWh pro m² und Jahr ergibt oder der rechnerische Nachweis einer Kombianlage (teilsolare Raumheizung) einen Mindestenergieertrag von 250 kWh pro m² und Jahr ergibt,
 - f) ein Wärmemengenzähler vor dem Speichermedium installiert ist,
 - g) ausschließlich neue (nicht gebrauchte) Komponenten/Anlagenteile verwendet werden,
 - h) ein ergänzender Zuschuss durch die jeweils zuständige Gemeinde gewährt wird,
 - i) für die Anlage kein Anspruch auf weitere Zuschüsse oder Förderungen (z.B. seitens der KPC – Kommunalkredit Public Consulting GmbH, EU, etc.) besteht.
- (2) Solare Schwimmbadheizungen werden nicht gefördert.
- (3) Der Förderungswerber verpflichtet sich,
 - a) die mit dem gegenständlichen Antrag vorgelegten Nachweise, detaillierte Originalrechnungen und Zahlungsbelege für die Dauer von 7 Kalenderjahren ab dem Zeitpunkt der Durchführung der geförderten Maßnahme gesichert aufzubewahren,
 - b) die errichtete Anlage ordnungs- und bestimmungsgemäß zu betreiben,
 - c) einer allfälligen Kontrolle durch die Organe des Förderungsgebers, den Steiermärkischen Landesrechnungshof oder eine von diesen Stellen beauftragte oder ermächtigte Person zum Zwecke der Überprüfung der Einhaltung der hiermit eingegangenen Verpflichtungen alle erforderlichen Auskünfte zu erteilen und zu den üblichen Geschäftszeiten Zutritt zur Anlage zu gewähren,
 - d) eventuellen Rechtsnachfolgern alle Verpflichtungen aus dem Rechtsverhältnis zwischen Förderungsehrnehmer und -geber rechtswirksam zu überbinden und dies bis spätestens 14 Tage nach rechtswirksamer Übertragung dem Förderungsgeber schriftlich unter Bekanntgabe aller relevanten Daten mitzuteilen und alle Änderungen der im Förderungsantrag dargestellten Umstände und Daten anzuzeigen,
 - e) alle Kosten und Auslagen zu tragen oder zu ersetzen, die aus der Sicherstellung von Ansprüchen des Landes Steiermark im Zusammenhang mit der gegenständlichen Förderung entstehen, sowie auch jene, die mit der gerichtlichen Durchsetzung etwaiger Ansprüche des Landes gegen Dritte bzw. gegen das Land durch Dritte verbunden sind, die im Zusammenhang mit dem gegenständlichen Rechtsverhältnis stehen, sofern der diesbezügliche Rechtsstreit durch Handlungen oder Unterlassungen seitens des Förderungsehrnehmers verursacht wurde sowie in einem solchen Rechtsstreit dem Land zur Seite zu stehen, wobei das Land verpflichtet ist, den Förderungsehrnehmer rechtzeitig voll zu informieren und prozessuale Handlungen, gerichtliche und außergerichtliche Vergleiche sowie teilweise und gänzliche Anerkenntnisse in Bezug auf den streitgegenständlichen Anspruch nur im Einvernehmen mit dem Förderungsehrnehmer zu tätigen,
 - f) dem Förderungsehrgeber die gewährte Förderung rückzuerstatten, wenn der Förderungsehrnehmer
 - I. einer seiner hiermit übernommenen Verpflichtungen nach gehöriger Abmahnung innerhalb einer Frist von einem Monat nicht nachkommt oder
 - II. die Gewährung dieser Förderung vorsätzlich oder fahrlässig durch unwahre Angaben oder Verschweigen maßgeblicher Tatsachen herbeigeführt wurde bzw. sonst vorsätzlich oder fahrlässig unwahre Angaben gemacht wurden oder
 - III. über das Vermögen des Förderungsehrnehmers ein Konkurs- oder Ausgleichsverfahren eröffnet wird, ein Konkursantrag mangels eines zur Deckung der Kosten des Konkursverfahrens voraussichtlich hinreichenden Vermögens abgewiesen wird bzw. die Zwangsverwaltung angeordnet wird.

Diese Rückerstattungen sind unverzüglich, spätestens jedoch 14 Tage nach Einmahnung durch den Förderungsgeber, auf das Konto des Landes Steiermark, Landes-Hypothekenbank Steiermark, Kontonummer 2014 1005201, unter Angabe der Geschäftszahl zur Überweisung zu bringen. Die rückgeforderten Beträge erhöhen sich in Fällen der Rückforderung gemäß § 4 Abs. 3 f) lit. I. und II. um Zinsen in Höhe von 3 % p.a. über dem jeweils geltenden Basiszinssatz der ÖNB ab dem Tag der erstmaligen Auszahlung der Förderungsmittel.

§ 5 Art und Ausmaß der Förderung

- (1) Förderungen von thermischen Solaranlagen erfolgen nur im Ausmaß ihrer anteilmäßigen Zurechenbarkeit zu Wohnnutzflächen oder zu Flächen von Schulen, Kindergärten, Pflegeheimen sowie öffentlichen Sportanlagen.
- (2) Förderungen für thermische Solaranlagen werden nur bei zurechenbaren Aperturflächen (bei Vakuumröhrenkollektoren die Absorberflächen) ab 5 m² gewährt. Dies gilt sowohl bei Neuinstallation als auch bei Erweiterung.
- (3) Bei Neuinstallation wird je Anlage ein Sockelbetrag von € 300,00 gewährt. Im Fall einer Heizungseinbindung beträgt bei einer Anlage mit mindestens 15 m² zurechenbarer Apertur - bzw. Absorberfläche der Sockelbetrag € 500,00.
- (4) Im Falle einer Erweiterung einer bestehenden Anlage wird ein Sockelbetrag bei einer zusätzlichen Investition von mindestens € 1.500,00 für Anlagenkomponenten (z.B. Pufferspeicher, Wärmetauscher) gewährt.
- (5) Bei Neuinstallation wird je Anlage ein Zuschuss von € 50,00 je zurechenbaren m² Apertur - bzw. Absorberfläche gewährt.
- (6) Im Falle einer Erweiterung einer bestehenden Anlage werden neue Solarkollektoren mit € 50,00 pro m² zurechenbarer Apertur - bzw. Absorberfläche gefördert.
- (7) Die Beihilfenobergrenze der Landesförderung aus dem Steirischen Umweltlandesfonds beträgt je Solaranlage € 2.000,00 bzw. im Geschosswohnungsbau € 650,00 pro Wohneinheit.
- (8) Der Tausch oder Neueinbau von Umwälzpumpen der Energieeffizienzklasse A wird nur in Verbindung mit Errichtung oder Erweiterung einer Solaranlage zusätzlich mit jeweils € 50,00 gefördert. Die Beihilfenobergrenze gemäß Abs. 7 erhöht sich um denselben Betrag.

§ 6 Vorzulegende Unterlagen

- (1) Nach Fertigstellung der Solaranlage sind mit dem Antrag folgende Unterlagen einzureichen:
 - a) Im Original. Detaillierte Rechnungen, Zahlungsbelege bzw. eine saldierte Endabrechnung, die zumindest folgende Anlagenteile enthalten müssen: Solarkollektoren (unter Angabe der Marke, Gütesiegel und Type), Brauchwasserspeicher/ Pufferspeicher, Wärmetauscher, Pumpengruppe, Regelung und Verbindungsleitungen.
Im Fall von Leasingverträgen der Leasingvertrag im Original unter Darstellung sämtlicher daraus erwachsender Kosten sowie detaillierte Rechnungen, Zahlungsbelege bzw. eine saldierte Endabrechnung der Anlage zumindest in Kopie.
 - b) Rechnerischer Nachweis des Mindestenergieertrags pro m² und Jahr.
 - c) Bestätigung auf dem Antragsformular über die fachgerechte Ausführung
 - I. der Warmwasser-Anlage ohne Heizungseinbindung durch eine aufgrund der gewerblichen Vorschriften zur Errichtung von Warmwasserbereitungsanlagen befugten Person bzw. Unternehmens.
 - II. der Warmwasser-Anlage mit Heizungseinbindung durch eine aufgrund der gewerblichen Vorschriften zur Errichtung von Warmwasserbereitungs- und Heizungsanlagen befugten Person bzw. Unternehmens.
 - d) Bestätigung der Gemeinde über die Höhe ihrer Solarförderung gemäß § 4 Abs. 1 lit. h.
 - e) Fotos der Solarkollektoren in entsprechender Qualität.
- (2) Auf Verlangen sind Planungsunterlagen durch eine aufgrund der gewerblichen Vorschriften zur Errichtung von Warmwasserbereitungs- und Heizungsanlagen befugten Person bzw. Unternehmens vorzulegen.
- (3) Der Förderungsantrag hat sämtliche, entsprechend dem Antragsformular, notwendigen Angaben zu enthalten. Ist der Förderungsantrag inhaltlich oder formal mangelhaft, werden fehlende Unterlagen oder Daten nachgefordert. Wird die von der Einreichstelle angegebene Frist nicht termingerecht eingehalten, so gilt der Antrag als zurückgezogen.

§ 7 Verfahrensbestimmungen

- (1) Die Festsetzung und Zusicherung der Förderung erfolgt durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 17A, Energiewirtschaft und allgemeine technische Angelegenheiten, Fachstelle Energie, Geschäftsstelle des Steirischen Umweltlandesfonds.
- (2) Die Auszahlung erfolgt nach Maßgabe der zur Verfügung stehenden Mittel durch die Geschäftsstelle des Steirischen Umweltlandesfonds.
- (3) Erfüllungsort ist Graz. Sämtliche Vertragsparteien vereinbaren, dass auf das gegenständliche Rechtsverhältnis österreichisches Recht anzuwenden ist und bestimmen für alle aus diesem Vertrag etwa entstehenden Rechtsstreitigkeiten gemäß § 104 JN einvernehmlich den ausschließlichen Gerichtsstand des jeweils sachlich zuständigen Gerichtes mit Sitz in Graz. Änderungen und Ergänzungen dieses Vertrages bedürfen zu ihrer Rechtswirksamkeit ausnahmslos der Schriftform. Sollten einzelne Bestimmungen dieses Vertrages unwirksam sein oder werden, wird hierdurch der übrige Inhalt dieses Vertrages nicht berührt. Die Vertragsteile verpflichten sich jedoch, in einem solchen Fall unverzüglich die nichtige Vertragsbestimmung durch eine solche rechtsgültige Vertragsbestimmung zu ersetzen, die der nichtigen Bestimmung gemessen an der Absicht der Vertragspartner bei Vertragsabschluss und dem wirtschaftlichen Gehalt der Vertragsbestimmungen am nächsten kommt.

§ 8 Datenschutzrechtliche Bestimmung

Der Förderungsehrnehmer stimmt im Sinne des § 8 Abs. 1 Z. 2 und § 9 Z. 6 des Datenschutzgesetzes 2000 – DSG 2000, BGBl. I Nr. 165/1999, ausdrücklich zu, dass alle im Ansuchen um Gewährung einer Förderung enthaltenen sowie bei der Abwicklung und Kontrolle der Förderung anfallenden, ihn betreffenden personenbezogenen und gemäß §§ 6 bis 9 DSG 2000 automatisiert verarbeiteten Daten der vom Land Steiermark beauftragten Abwicklungsstelle, dem Steiermärkischen Landesrechnungshof und allenfalls vom Land Steiermark beauftragten Dritten, die zur vollen Verschwiegenheit über die Daten verpflichtet sind, für Kontrollzwecke übermittelt werden können.

Der Förderungsehrnehmer hat das Recht, die vorstehende Zustimmungserklärung zu jeder Zeit schriftlich durch Mitteilung an den Förderungsehrgeber zu widerrufen. Dieser Widerruf hat rückwirkend das Erlöschen des Förderungsanspruches und die Rückforderung bereits gewährter Förderungen zur Folge. Allfällige Übermittlungen werden unverzüglich nach Einlangen des Widerrufs unbeschadet bestehender gesetzlicher Übermittlungspflichten eingestellt.

Anhang E: Auszug aus dem „Merkblatt Solarenergie“ der Stadt Graz

Stadt

G R A Z

**Merkblatt
Solarenergie**

Umweltamt – Referat für Energie und Klima
Kaiserfeldgasse 1/IV, A-8011 Graz
Telefon: (0316) 872-4323, 4324, 4328 Fax: -4309
E-Mail: energie@stadt.graz.at

1. Wer erhält eine Förderung

- Private Haushalte
- Wohnbauträger, Anlagenbetreiber
- Vereine
- Freiberuflich Tätige

2. Was wird gefördert

Die installierte Nettokollektorfläche von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung oder Raumheizung wird pauschal bzw. nach Quadratmeter gefördert.
Fotovoltaikanlagen werden nach m² gefördert

3. Förderungsvoraussetzungen

Zuschüsse können nur gewährt werden, wenn

- die Installation der Kollektoren in Südwest- bis Südostrichtung erfolgt,
- die Anlage so ausgelegt ist, dass der Warmwasserbedarf im Sommerhalbjahr durch die Solaranlage weitestgehend gedeckt wird, mindestens jedoch 4 m² aufweist,
- die Solaranlage den entsprechenden Ö-Normen genügt, und zwar insbesondere bei der Dämmung des Speichers bzw. der warmwasserführenden Rohre.
- Außerdem darf der Einbau der Anlage nicht länger als 12 Monate zurückliegen bzw. die saldierte Endabrechnung nicht älter als 12 Monate sein.
- Allfällige zivilrechtliche sowie behördliche Bewilligungen hat der Förderungswerber selbst einzuholen.

4. Höhe der Förderung

- Wenn die Solaranlagen der Warmwasserbereitung oder der Raumheizung dienen, werden Zuschüsse in der Höhe von € 100 pro m² installierter Nettokollektorfläche gewährt.
- Darüber hinausgehende Kollektorflächen, die ausschließlich anderen Verwendungszwecken (z.B. Schwimmbadheizung) dienen, werden nicht gefördert.
- Maximal wird pro Wohneinheit ein Zuschuss von € 3.000 gewährt.
- Netzgekoppelte Fotovoltaikanlagen werden mit € 100 pro m² gefördert.
- Ist die Errichtung aufgrund des Steiermärkischen Wohnbauförderungsgesetzes verpflichtend, so beträgt die Förderpauschale € 400,-

Hinweis: Zuschüsse können nur bei Vorliegen der in den Richtlinien festgelegten Voraussetzungen und nach Maßgabe der finanziellen Möglichkeiten gewährt werden! Ein Rechtsanspruch auf die Gewährung eines Zuschusses besteht nicht. Bei Nichteinhaltung der in den Richtlinien normierten Verpflichtungen bzw. bei falschen Angaben wird der gewährte Zuschuss vom Förderungswerber zurückgefordert.

5. Was ist dem Antrag beizulegen

- Nachweis über die Berechtigung als Förderungswerber (Grundbuchsatzug, Mietvertrag, Pachtvertrag,...)
- Installationspläne der Anlage
- Baupläne bzw. ein Lageplan, aus welchem die Orientierung der Kollektoren hervorgeht
- Ein Foto der Anlage

6. Beratung und Einbringung der Anträge

Umweltamt – Referat für Energie und Klima
Kaiserfeldgasse 1/IV, Zi 4
Dienstag und Freitag in der Zeit von **8.00 bis 12.00** Uhr unter der angeführten Kontaktadresse

Hinweis: Die Erledigung des Antrages erfolgt schriftlich. Die Stadt Graz hat das Recht, eine Überprüfung der geförderten Installationen bzw. der Bauten an Ort und Stelle durchzuführen.

Anhang F: Auszug aus ÖNORM M 7701 Beiblatt 2 : Globalstrahlung**Tabelle 8:** Mittlere Monats- und Jahressummen der flächenbez. Globalstrahlung in kWh/m²**Tabelle 34:** Mittlere monatl. Stundensummen der flächenbez. Globalstrahlung in Wh/m²

Ort	Seehöhe	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Admont-Moorwiesen	641 m	31,2	49,4	87,2	112,9	133,5	143,4	145,1	120,2	87,2	60,4	33,5	23,8	1029
Aflenz	780 m	37,4	52,6	91,1	120,0	151,2	151,9	155,0	133,6	98,6	67,2	36,3	28,6	1123
Bad Gleichenberg	300 m	35,2	50,7	87,9	120,6	150,7	164,4	172,2	147,6	103,7	65,8	35,4	27,2	1161
Bad Mitterndorf	803 m	35,2	49,5	90,5	117,0	151,6	152,0	153,6	137,8	101,9	71,1	37,8	29,1	1127
Bruck an der Mur	480 m	35,5	52,7	86,9	113,4	139,3	149,5	155,6	130,0	93,3	61,0	34,4	25,9	1077
Graz - St. Peter	429 m	32,7	50,6	91,0	119,3	150,1	160,3	166,8	147,0	105,9	68,9	34,5	26,4	1154
Graz - Thalerhof	340 m	30,5	49,1	90,2	119,6	148,9	160,2	166,9	147,1	106,9	66,4	35,0	25,6	1146
Graz - Universität	369 m	32,6	49,7	87,5	117,7	145,8	157,8	163,9	140,2	102,3	63,9	34,1	26,5	1122

Monat	Stunde des Tages zwischen den vollen Stunden															
	4 bis 5	5 bis 6	6 bis 7	7 bis 8	8 bis 9	9 bis 10	10 bis 11	11 bis 12	12 bis 13	13 bis 14	14 bis 15	15 bis 16	16 bis 17	17 bis 18	18 bis 19	19 bis 20
Jan.				5	36	94	157	196	207	176	121	52	8			
Feb.			1	26	82	157	227	266	277	243	181	107	35	3		
März		1	24	97	200	301	378	409	402	385	288	202	107	27	1	
Apr.		15	81	184	305	414	480	514	484	424	360	271	174	76	15	
Mai	8	59	151	265	389	490	562	580	546	500	434	328	224	124	43	6
Juni	16	80	165	295	412	510	582	614	587	533	447	351	256	159	70	15
Juli	9	66	168	283	409	516	601	630	639	566	485	385	281	167	69	11
Aug.	1	25	104	221	345	453	542	560	585	538	444	335	227	111	30	3
Sept.		3	43	135	245	353	430	470	456	411	335	236	141	39	3	
Okt.			9	56	134	219	289	331	333	283	216	135	50	7		
Nov.			1	14	61	119	169	197	199	167	112	52	8			
Dez.				2	32	84	136	175	171	138	86	29	1			

Anhang G: Auszug aus ÖNORM M 7701 Beiblatt 2 : Lagefaktor**3 Lagefaktor R für Österreich auf 200 m Seehöhe**

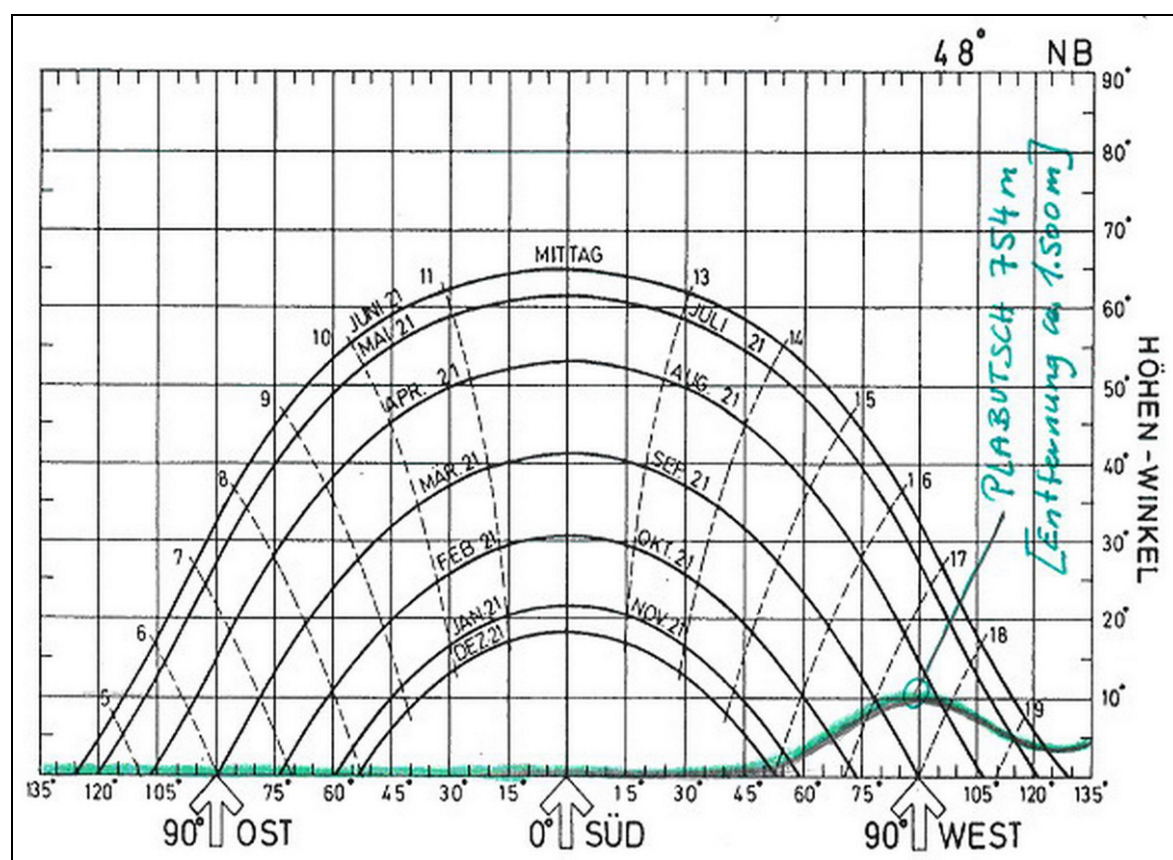
Tabelle 36 – Kollektorverdrehung 0° aus der Südrichtung

Monat	Neigungswinkel Alpha in Grad								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Jän.	1,14	1,26	1,36	1,42	1,47	1,47	1,45	1,39	1,32
Feb.	1,10	1,18	1,24	1,27	1,29	1,27	1,23	1,16	1,08
März	1,07	1,12	1,16	1,17	1,15	1,12	1,06	0,98	0,88
Apr.	1,04	1,07	1,07	1,06	1,02	0,96	0,89	0,79	0,69
Mai	1,02	1,03	1,01	0,98	0,93	0,86	0,77	0,68	0,57
Juni	1,02	1,01	0,99	0,95	0,89	0,82	0,73	0,63	0,52
Juli	1,02	1,02	1,00	0,96	0,91	0,83	0,75	0,64	0,53
Aug.	1,04	1,06	1,05	1,03	0,99	0,92	0,84	0,75	0,64
Sept.	1,07	1,13	1,16	1,17	1,15	1,11	1,04	0,95	0,85
Okt.	1,11	1,21	1,28	1,32	1,34	1,32	1,28	1,20	1,11
Nov.	1,14	1,26	1,37	1,44	1,48	1,50	1,47	1,42	1,33
Dez.	1,14	1,29	1,39	1,46	1,51	1,51	1,50	1,42	1,37

4 Lagefaktor R für Österreich auf 500 m Seehöhe

Tabelle 49 – Kollektorverdrehung 0° aus der Südrichtung

Monat	Neigungswinkel Alpha in Grad								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Jan.	1,16	1,30	1,42	1,49	1,55	1,56	1,54	1,49	1,41
Feb.	1,12	1,21	1,28	1,32	1,34	1,33	1,29	1,22	1,13
März	1,08	1,13	1,17	1,19	1,17	1,14	1,08	1,00	0,90
Apr.	1,04	1,07	1,08	1,07	1,03	0,97	0,89	0,80	0,69
Mai	1,02	1,03	1,01	0,98	0,93	0,86	0,77	0,68	0,57
Juni	1,02	1,01	0,99	0,95	0,89	0,82	0,73	0,63	0,52
Juli	1,02	1,02	1,00	0,96	0,91	0,83	0,75	0,64	0,53
Aug.	1,04	1,06	1,05	1,03	0,99	0,92	0,84	0,75	0,64
Sept.	1,08	1,14	1,17	1,18	1,17	1,13	1,06	0,97	0,86
Okt.	1,12	1,22	1,30	1,34	1,36	1,35	1,30	1,23	1,13
Nov.	1,16	1,30	1,43	1,52	1,57	1,60	1,57	1,52	1,43
Dez.	1,17	1,34	1,47	1,56	1,62	1,63	1,63	1,59	1,50

Anhang H: Auszug aus ÖNORM M 7701 Beiblatt 2 : Sonnenweg-Diagramm

Keine Horizontüberhöhung im Osten und Süden. Im Westen begrenzt der Plabutsch-Buchkogel-Höhenzug das Grazer Stadtgebiet.

Anhang I: Werte aus Simulationsprogramm / Polysun

Trinkwassererwärmung im Einfamilien-Haushalt

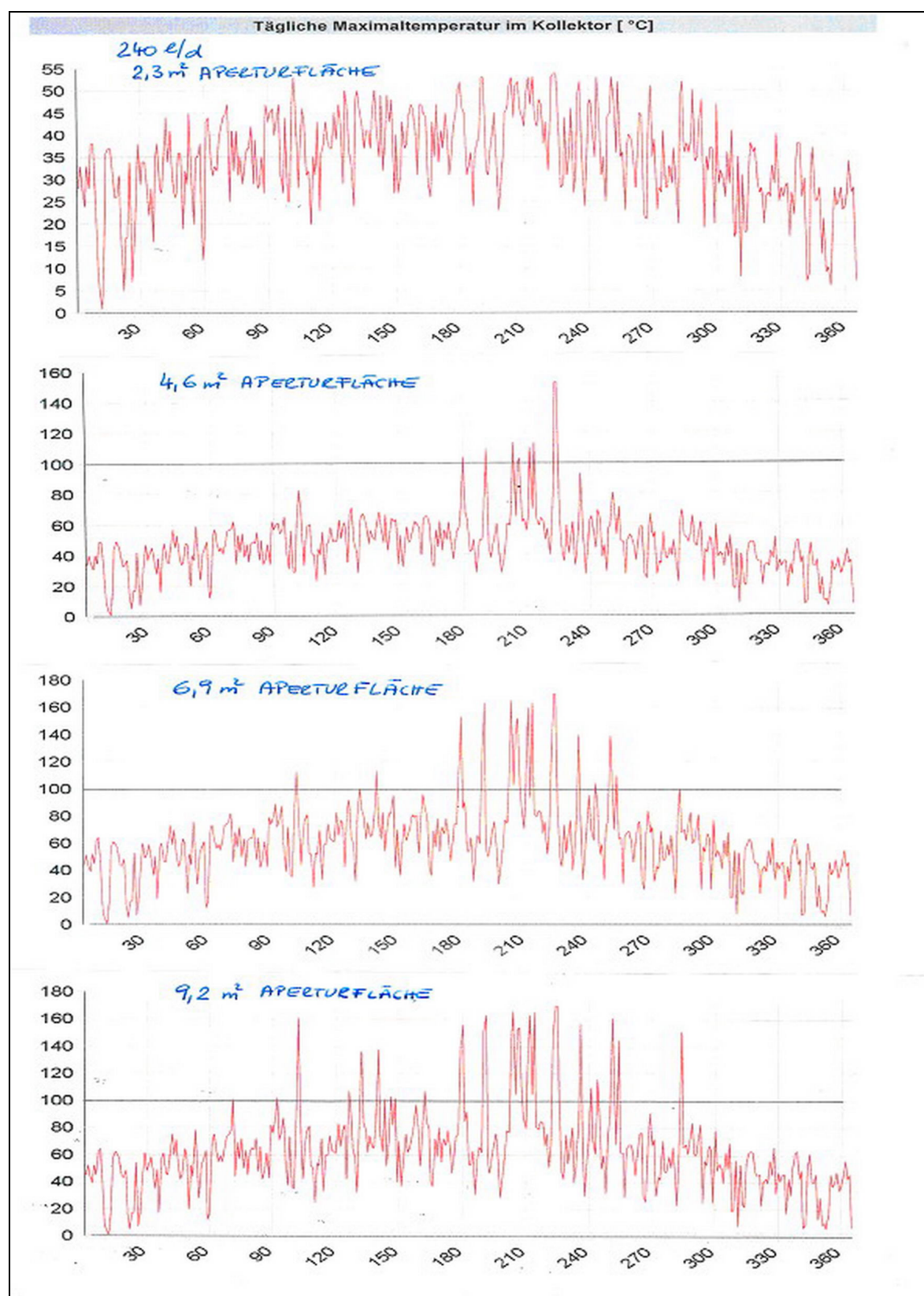
Standort: Graz
 Kollektorausrichtung: 0° (Süd)
 Kollektorneigung: 40°
 Flachkollektor: mit selektiver Beschichtung für Indachmontage
 Kollektordaten für Simulation: $\eta_0 = 0,78$; $a_1 = 3,796 \text{ W/m}^2\text{K}$; $a_2 = 0,013 \text{ W/m}^2\text{K}^2$
 Simulationsprogramm: Polysun Version 5.0.0.09

Haushaltsgröße: 4 Personen
 Verbrauchsprüf: ganzjährig konstanter Tagesverbrauch
 Tagesprofil: Morgenspi

Bezeichnung		Einheit	Energienengen und Kennzahlen aus der Polysun Resultaten-Liste und eigener Berechnung / Auswertung																
Symbol Polysun	Symbol Eigen	ld	min. 160					240					max. 360						
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Warmwasserbedarf mit 45 °C																			
Anzahl der Kollektoren			Stk.																
Bruttofläche			F _B	m²	2,53	5,07	7,71	10,13	12,66	2,53	5,07	7,71	10,13	12,66	2,53	5,07	7,71		
Aperturfläche			F _a	m²	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	2,3	4,6	6,9		
Solarspeicher (ca. 50-70 l/m²)			G _{SP}	Liter	200	300	400	500	750	200	300	400	500	750	200	300	400		
Solarkreis	Einst.	Q _K	kWh/a	3.164,4	6.328,8	9.493,3	12.657,7	15.822,1	3.164,4	6.328,8	9.493,3	12.657,7	15.822,1	3.164,4	6.328,8	9.493,3	12.657,7		
	Solarenegie an das System	Q _K	kWh/a	1.679,3	2.761,3	3.426,4	3.850,8	4.034,8	1.797,0	3.061,1	3.953,0	4.571,4	4.875,8	1.887,9	3.404,8	4.515,9	5.386,7		
	Pumpenenergie (Endergie)	E _P	kWh/a	84,2	71,1	60,7	51,2	29,8	92,5	81,7	72,5	62,8	40,4	99,3	92,0	84,9	75,9		
	Wärmeverlust Solarkreis	Q _{VS,K}	kWh/a	415,1	665,9	872,0	928,7	855,1	322,3	588,1	783,2	883,2	834,8	242,9	481,2	657,0	785,3		
	Pumpenenergie an Solarkreis	Q _P	kWh/a	23,9	18,5	14,5	11,1	4,77	25,9	22,4	18,6	15,0	8,31	29,4	26,1	23,0	19,7		
	Solarenegie an Speicher	Q _S	kWh/a	1.938,6	2.166,8	2.851,0	3.057,1	3.273,1	1.570,4	2.595,9	3.275,3	3.792,7	4.132	1.742,2	3.049,2	3.956,6	4.688,0		
	Zusatzenergie an Speicher	E _H	kWh/a	1.392,0	800,1	519,9	352,1	194,2	1.793,7	1.433,1	998,8	712,7	445,6	2.377,1	2.126,1	1.855,5	1.502,2		
	Wärmeenergie aus Speicher	Q _W	kWh/a	2.398,7	2.490,1	2.504,4	2.504,8	2.502,6	3.198,1	3.698,0	3.726,0	3.740,8	3.745,9	3.955,9	4.898,9	5.408,8	5.578,7		
	Wärmeverlust an den Innenraum	Q _{VR}	kWh/a	353,3	391,9	422,3	444,7	472,4	304,9	381,8	415,8	439,1	469	270,8	339,2	397,4	431,4		
	Energieverbrauch	Q _N	kWh/a	2.264,5	2.341,4	2.352,5	2.349,6	2.344,1	3.013,8	3.489,8	3.568,7	3.581,2	3.584,4	3.855,9	4.771,8	5.275,1	5.439,3		
Kennzahlen	Energiebedarf	Q _N	kWh/a	2.395,3	2.356,3	2.356,4	2.356,4	2.356,3	3.575,7	3.575,7	3.575,8	3.575,8	3.575,6	5.367,8	5.367,8	5.368,0	5.367,9		
	mittlerer jährlicher Kollektorkwungsgrad	η _K	%	53,1	43,6	36,1	30,7	25,5	56,8	48,7	41,6	36,1	30,8	59,7	53,8	47,6	42,4		
	Solarer Deckungsgrad	SD	%	50,5	72,9	83,8	89,7	94,4	46,8	84,4	76,6	84,2	90,2	42,3	58,9	68,0	75,7		
	spez. Solarer Ertrag	SE	kWh/m²a	590,7	471,0	385,7	333,4	284,6	682,8	564,5	474,7	412,3	395,3	797,5	682,9	574,9	509,6		
	Systemnutzungsgrad	SN	%	42,9	34,2	28,0	24,2	20,7	49,6	41,0	34,5	30,0	26,1	55,1	48,2	41,8	37,0		

Werte, in Zeilen mit Polysun-Symbolen, wurden aus der Polysun System-Resultaten-Liste entnommen
empfohlener Bereich gelb hinterlegt

Schwannert 10.07.2010

Anhang J: Tägliche Maximaltemperatur im Kollektor

Anhang K: Angebot über Solaranlage zur Trinkwassererwärmung

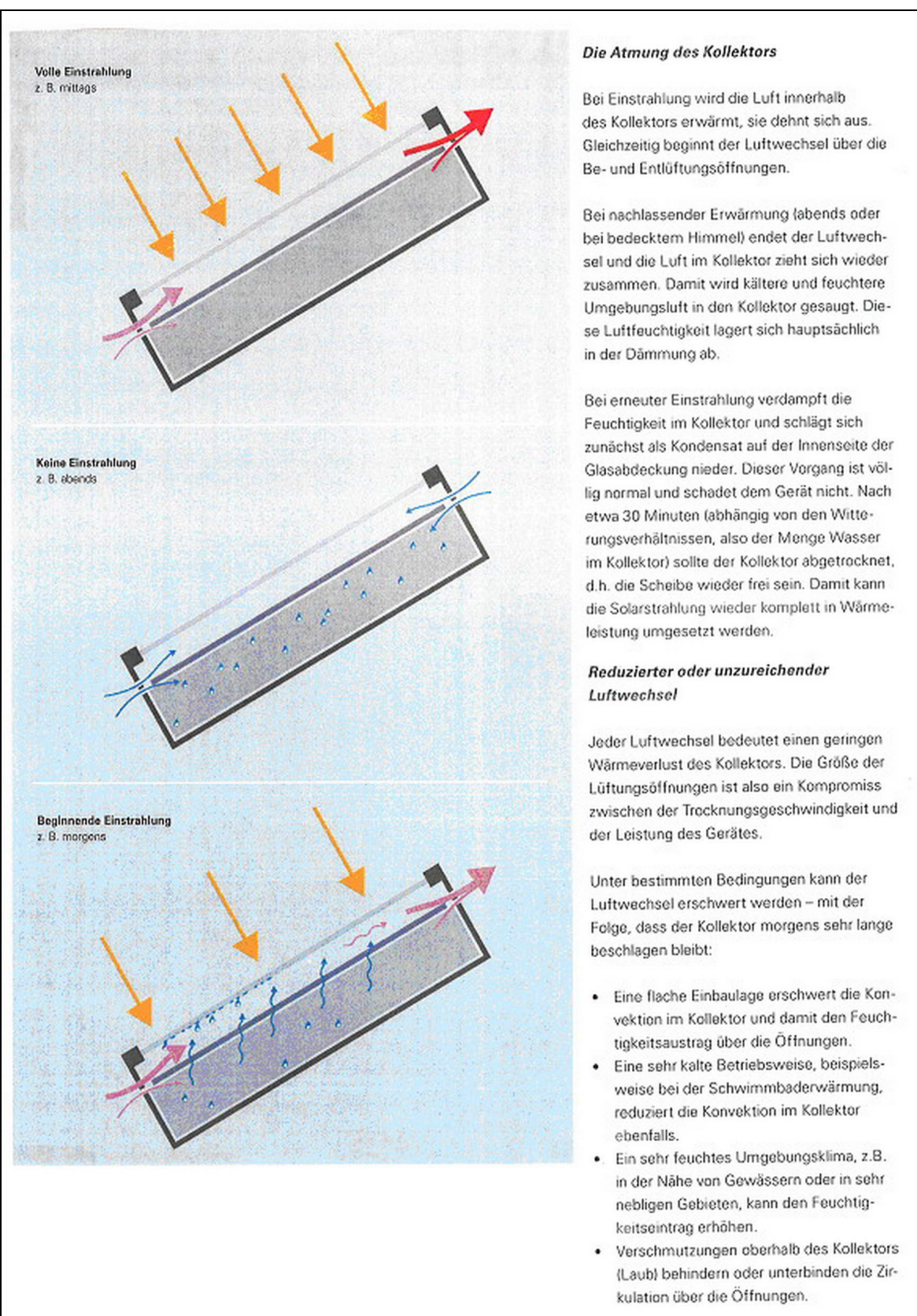
Angebot über Solaranlage zur Trinkwassererwärmung							
Die angeführten Einheits- und Positionspreise sind arithmetische Mittelwerte aus vier Angeboten							
13.07.2010							
Pos.	Menge	EH	Bezeichnung	Einheitspreis €/EH	Positionspreis €	Zusatzinformation	dem Angebot sind beizulegen
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6 m ²		Flachkollektor mit selektiver Beschichtung für Indachmontage, Aperturfläche 6,0m ² Leistungskennwerte: $\eta_p=0,78$; $a_1=3,784$; $a_2=0,0014$ Durchströmung: 40 l/hm ² inkl. Montagezubehör	245,00	1.470,00	Dachschräge 40°	angebotenes Fabrikat, Type, Datenblatt Prüfbericht, Nr. und Datum
2	1 PA		Montage der Kollektoren mit Autokran	550,00	550,00	Höhe ca. 15m, Ausladung 10m	
3	1 ST		Solarspeicher 300 Liter, Betriebsdruck 6bar, Betriebstemp. 95°C mit Rippenrohr-Wärmetauscher 1,6m ² , 6bar Elektro-Heizpatrone 3,5 KW inkl. Isolierung 100mm und Speicherfühler	1.190,00	1.190,00		angebotenes Fabrikat, Type, Datenblatt
4			Solarkreislauf				
4.1	1 ST		Solarstation bestehend aus: Solarpumpe, Kugelhähne mit integriertem Sperrventil und Thermometer, Sicherheitsgruppe mit Sicherheits- ventil 6bar, Manometer und Anschluß für Ausdehnungs- gefäß, Spül-Füll und Entleerungshan, Durchflußmengen begrenzer mit Anzeige, Entlüfter, Isolierung, Verschraubungsset	425,00	425,00		angebotenes Fabrikat, Type, Datenblatt
4.2	1 ST		Aufpreis für Solarpumpe Energieeffizienzklasse A	95,00	95,00		angebotenes Fabrikat, Type, Datenblatt
4.3	1 ST		Solar-Ausdehnungsgefäß 35 Liter, max. 6bar inkl. Servicekupplung und Edelstahlwellenschlauch	108,00	108,00		angebotenes Fabrikat, Type, Datenblatt
4.4	1 ST		Entlüftungstopf, isoliert Rohranschluß Dim22mm mit Handlüfter	51,00	51,00		
4.5	30 m		Kupferrohrleitung d22 x 1 mm, vom Kollektor zum Pufferspeicher, inkl. Formstücke und Befestigungsmaterial	15,60	468,00		
4.6	28 m		Dämmung der Rohrleitung 30mm im Innenraum	11,20	313,60		
4.7	2 m		Dämmung der Rohrleitung 30mm im Freien witterungs- und UV-beständig	30,00	60,00		
4.8	10 kg		Frostschutzkonzentrat für Solaranlage auf Basis Propylenglycol	4,00	40,00		
5			Trinkwasseranschluß				
5.1	1 ST		Thermostatisch gesteuertes Mischventil zur Begrenzung der Trinkwassertemperatur auf 60°C inkl. Einbindung in bestehende Installation	72,00	72,00		angebotenes Fabrikat, Type, Datenblatt
5.2	1 ST		Wasserenthärter, inkl. Erstfüllung und Einbindung in bestehende Installation	1.850,00	1.850,00	z.B. Fabr. BWT AQA solar	angebotenes Fabrikat, Type, Datenblatt
5.3	2 m		Niro-Pressfitting Rohr d22 mm,	29,00	58,00	Verbindung Kaltwasser- leitung zum Mischventil	
5.4	2 m		Dämmung der Rohrleitung	8,00	16,00		
6			Solarregelung				
6.1	1 ST		Solarregler, für Boilerladung, Differenz-, Min- und Max. Funktion, Anlagenstartfunktion, Wärmemengenzähler	160,00	160,00	z.B. TA ESR21	angebotenes Fabrikat, Type, Datenblatt, Beschr.
	1 ST		Elektronischer Volumenstromgeber	98,00	98,00	z.B. TA VFS2-40	angeb. Fabrikat, Type
6.2	1 ST		Kollektorfühler mit Überspannungsschutz	15,40	15,40	PT 1000, max bis 240°C	
6.3	2 ST		Fühler bei Speicher	13,90	27,80	PT 1000 im VL + RL	
6.4	1 PA		Installationsmaterial und Kabel	119,00	119,00		
7			Sonstiges				
7.1	1 PA		Blitzschutz und Erdung	90,00	90,00		
7.2	2 PA		Kernbohrung d100 mm, Mauerstärke 25 cm	85,00	170,00		
7.3	1 PA		Dach abdecken, Kollektoreinfassung in Alu, Dachdurchführung	850,00	850,00		
8			Montage und Inbetriebnahme				
8.1	24 Std		Montage der Anlagenkomponenten und Rohrleitungen, füllen der Anlage sowie Durchführen der Druckprobe und des Probetriebes inkl. Dokumentation, Betriebsanleitung und Wartungsplan	70,00	1.680,00	Montagezeit war vom Anbotler einzutragen und bezieht sich auf Partiestunden (Monteur mit Helfer).	
Angebotssumme - Netto					9.976,80	Hinweis: Es wurde eine schlüsselfertige Anlage angefragt. Die Kosten für Projektierung und Planung sind in den einzelnen Positionen einkalkuliert	
Mehrwertsteuer				20%	1.995,36		
Angebotssumme inkl. MWSt.					11.972,16		

Anhang L: Wartungsprotokoll

Wartungsprotokoll	
Anlagenstandort / Betreiber: _____ _____ _____	
<hr/>	
Kollektorkreis	
Anlagenbetriebsdruck _____ bar bei _____ °C Vorlauftemperatur	
Dichtheit des Kollektorkreises geprüft	<input type="checkbox"/>
Sicherheitsventil geprüft	<input type="checkbox"/>
Frostschutz geprüft: bis - _____ °C	
Kollektorkreis entlüftet	<input type="checkbox"/>
Volumenstrom geprüft: _____ l/min	
Rückschlagklappe in Funktion	<input type="checkbox"/>
Schmutzfänger gereinigt (wenn vorhanden)	<input type="checkbox"/>
<hr/>	
Sonnenkollektor	
Sichtprüfung der Kollektoren durchgeführt	<input type="checkbox"/>
Sichtprüfung der Kollektorhalterung durchgeführt	<input type="checkbox"/>
Sichtprüfung der Dachdichtheit durchgeführt	<input type="checkbox"/>
Sichtprüfung der Wärmedämmung durchgeführt	<input type="checkbox"/>
<hr/>	
Solarspeicher	
Schutzstrom der Opferanode geprüft: _____ mA	
Kontrolleuchte der Fremdstromanode	<input type="checkbox"/>
<hr/>	
Regelung	
Pumpenfunktion in den Stellungen An / Aus / Auto geprüft	<input type="checkbox"/>
Regelung zeigt _____ Betriebsstunden im Zeitraum von ____/____/____ bis ____/____/____	
Temperaturanzeige aller Fühler kontrolliert	<input type="checkbox"/>
Nachheizung funktionstüchtig	<input type="checkbox"/>
gewünschte Solltemperatur wird eingehalten	<input type="checkbox"/>
Thermostatisches Mischventil in Funktion	<input type="checkbox"/>
Wärmemengenzähler zeigt _____ kWh im Zeitraum von ____/____/____ bis ____/____/____	
<hr/>	
Datum, Name, Unterschrift/Firmenstempel _____	

Anhang M: Kondensatbildung in Flachkollektoren

Quelle: Viessmann Werke: Planungshandbuch Solarthermie, 2008



Anhang N: Firmendaten österreichischer Kollektorproduzenten und Vertriebsfirmen:

- _ AKS Doma Solartechnik GmbH
- _ AST Eis- u. Solartechnik GmbH & Co KG
- _ Austria Email AG
- _ Bramac Dachsysteme International GmbH
- _ Conergy GmbH
- _ Einsiedler Solartechnik
- _ EKOM Wärmetechnik GesmbH
- _ Energiebig Energie & Umwelttechnik GmbH
- _ Gasokol GmbH
- _ GEO-TEC Solartechnik GmbH
- _ GREENoneTEC Solarindustrie GmbH
- _ IHT Innovative Heizungstechnik GmbH
- _ IMMOSOLAR Alpina GmbH
- _ Kohlbacher Wärmetechnik GmbH
- _ MEA SOLAR
- _ MM Greinitz Handels GmbH
- _ OKOTECH Produktionsgesellschaft für Umwelttechnik m.b.H.
- _ Pink Energie- und Speichertechnik GmbH
- _ Primagaz GmbH
- _ ROTO Bauelemente GmbH
- _ Roskopf-Solar-Sonnenkollektoren
- _ S.O.L.I.D. Solarinstallation und Design GmbH
- _ SIKO SOLAR Vertriebs GmbH
- _ Solarfocus GmbH
- _ SOLARier Gesellschaft f. erneuerbare Energie mbH
- _ SOLKAV Alternative Energie Systeme GmbH
- _ SOLution Solartechnik GmbH
- _ Sonnenkraft Österreich VertriebsgmbH
- _ Stiebel Eltron GmbH
- _ Sun Master Energiesysteme GmbH
- _ TiSUN GmbH

VI Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere dass ich alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet habe. Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat.